

جغرافیا و توسعه شماره ۵۳ زمستان ۱۳۹۷

وصول مقاله: ۹۶/۰۴/۱۷

تأیید نهایی: ۹۶/۱۰/۲۴

صفحات: ۱۲۵-۱۴۰

تحلیل لرزه‌خیزی بخش آبخش با استفاده از مدل‌های تحلیل سلسله‌مراتبی

دکتر محسن پور خسروانی^{۱*}، سیده الهام موسوی^۲

چکیده

برنامه‌ریزی با هدف مدیریت بحران، ارزیابی شدت و میزان لرزه‌خیزی مناطق مختلف به‌منظور مقابله با خسارت‌های ناشی از لرزه‌خیزی، همواره یکی از دغدغه‌های اصلی برنامه‌ریزان و مدیران شهری بوده است. بخش آبخش یکی از لرزه‌خیزترین بخش‌های استان بوشهر است که به‌علت وجود گسل‌های متعدد و فعال قطر-کازرون، برازجان، رگ سفید و زاگرس، همواره در معرض زمین‌لرزه‌های متعدد و گهگاه شدید با حداکثر بزرگای ۵ ریشتر قرار گرفته است. به همین علت پژوهش حاضر پس از تهیه نقشه‌های پایه لرزه‌خیزی مانند عمق کانون‌های لرزه‌خیزی، توان لرزه‌خیزی، شتاب و شدت زمین‌لرزه و عمق خاک اقدام به وزن‌دهی پارامترها کرده و درنهایت با استفاده از سه مدل سیستم تحلیل سلسله‌مراتبی، Dematel و میانگین رتبه‌ها به بررسی، ارزیابی وضعیت لرزه‌خیزی بخش آبخش و ترسیم نقشه پهنه‌بندی لرزه‌خیزی در این ناحیه پرداخته شد. نتایج تحقیق نشان می‌دهد که توان لرزه‌زایی گسل و شدت زلزله به ترتیب با (۰/۰۸۶ و ۰/۰۶۳) تأثیرگذارترین عوامل و لیتولوژی و عمق خاک با (۰/۱۱۰) و شیب با (۰/۱۰۳) متعامل‌ترین پارامترها در زمینه توان لرزه‌خیزی بخش آبخش هستند. به عبارت دیگر، در این ناحیه هرچه شیب زمین کمتر، مواد مادری مقاوم‌تر و عمق خاک کمتر باشد، تأثیر کمتری از پارامترهای توان لرزه‌زایی گسل و شدت زلزله خواهد پذیرفت و در نتیجه اراضی دارای این شرایط در بخش آبخش در برابر زلزله مقاوم‌تر خواهند بود. بر این اساس و مطابق با نتایج، هرچه به‌سمت شمال غرب این بخش پیشروی کنیم، بر شدت لرزه‌خیزی افزوده می‌شود.

واژه‌های کلیدی: پهنه‌بندی، مدل سلسله‌مراتبی، لرزه‌خیزی، آبخش.

مقدمه

شناخت سرشت لرزه‌ای منطقه ایران از دیدگاه لرزه زمین‌ساختی و لرزه‌خیزی به علت قرارگرفتن این کشور در کمربند آلپ- هیمالیا به‌عنوان یکی از لرزه‌خیزترین مناطق جهان که به‌طور متوسط هر ۵ سال یکبار یک زلزلهٔ مخرب در آن روی می‌دهد، از اهمیت بسیار زیادی برخوردار است. زلزله یکی از مخاطرات طبیعی است که آسیب‌های ناشی از آن در کشورهای درحال توسعه به مراتب بیشتر از کشورهای توسعه‌یافته است. به‌طوری که آمارها نشان می‌دهد که ۹۵ درصد از کل قربانیان بلایای طبیعی در جهان از کشورهای درحال توسعه می‌باشند و تلفات ناشی از زلزله در این کشورها ۲۰ برابر بیشتر از کشورهای توسعه‌یافته است (سلیمانی، ۱۳۹۵: ۳)؛ از این رو شناخت وضعیت تکتونیکی، نحوه رفتار و عملکرد گسل‌ها و همچنین وضعیت لرزه‌خیزی مناطق مختلف تأثیر زیادی در بکارگیری راهبردهای مناسب درجهت به حداقل رساندن خسارات ناشی از این حرکات خواهد داشت. به همین دلیل دستیابی به روش‌های قابل اعتماد درجهت پیش‌بینی مکانی، زمانی و بزرگای زمین‌لرزه‌ها هدف اصلی پژوهش‌های اخیر بوده است. گسترش علوم زمین و تلفیق آن با ریاضیات، موجب شناخت دقیق‌تر شرایط محیطی و در نتیجه آگاهی بیشتر از مقاومت محیط طبیعی در برابر زمین‌لرزه می‌شود (Masashi, 2003: 3) به‌طور مثال نرخ یا شمار زمین‌لرزه‌های رخ داده طی یک سال در یک ناحیه می‌تواند یکی از متغیرهای مناسب برای جدا کردن پهنه‌هایی با فعالیت‌های لرزه‌ای متفاوت از یکدیگر باشد (رزاقیان و همکاران، ۱۳۹۲: ۹۹). همچنین تعیین چشمه‌های بالقوه زمین‌لرزه، یکی از عناصر اساسی در ارزیابی خطر لرزه‌ای است که در شروع ارزیابی خطر، جایگاه منحصربه‌فردی دارد (بوستان و طاهرنیا، ۱۳۹۳: ۲۸).

با توجه به اهمیت ارزیابی لرزه‌خیزی مناطق مختلف در کنترل و پایش خسارات ناشی از زلزله، تاکنون مطالعات گسترده‌ای در این زمینه صورت گرفته است؛ از جمله:

ادیب و همکاران (۱۳۹۵) ضمن پهنه‌بندی لرزه‌ای شرق استان یزد براساس زلزله‌ها و گسل‌های کواترنری و با استفاده از مدلسازی فرکتالی، نتیجه می‌گیرند که این روش در مطالعات پهنه‌بندی نسبی حرکت زمین و تعیین ارتباط طول، تراکم و تقاطع گسل‌ها با چشمه‌های بالقوه زمین‌لرزه کاربرد داشته و می‌تواند در کاهش هزینه مطالعات شناخت پهنه‌های لرزه‌ای مفید باشد.

بنینی و همکاران^۱ (۲۰۰۳) در پژوهشی با استفاده از کار مدلسازی و آزمایشگاهی برای ایران بیان می‌کنند که فعالیت‌های لرزه‌ای هم از دید سازوکار و هم از دید پراکندگی، هماهنگی مناسبی با موقعیت کمربندهای تغییر شکل‌یافته در پهنه ایران نشان می‌دهند و با دور شدن از این کمربندها و کاهش تغییر شکل‌ها، فعالیت‌های لرزه‌ای نیز کاهش می‌یابد.

در پژوهشی دیگر صیامی و همکاران (۱۳۹۴) ضمن آسیب‌شناسی لرزه‌ای شهر گرگان با استفاده از تحلیل سلسله‌مراتبی بیان می‌کنند که با حرکت از سمت جنوب به مرکز شهر، بر میزان آسیب‌پذیری افزوده می‌شود. به این علت که جنوب شهر نسبت به شمال آن داری معابر با عرض کافی، ساختمان‌های مقاوم و با قدمت کم است. به‌طور کلی شدت لرزه‌خیزی مناطق مختلف موجب بروز زلزله، تلفات جانی و خسارت‌های مالی فراوان می‌شود. در این راستا مدل‌های فضایی چندمعیاره که دارای ساختاری تحلیلی بر مبنای مکان است، می‌تواند به‌طور نامحدود متغیرهای رخداد زمین‌لرزه را با ارائه وزن‌های درون‌گروهی و بین‌گروهی بررسی کند (شهبابی و همکاران، ۱۳۹۰: ۶۶).

مبانی نظری

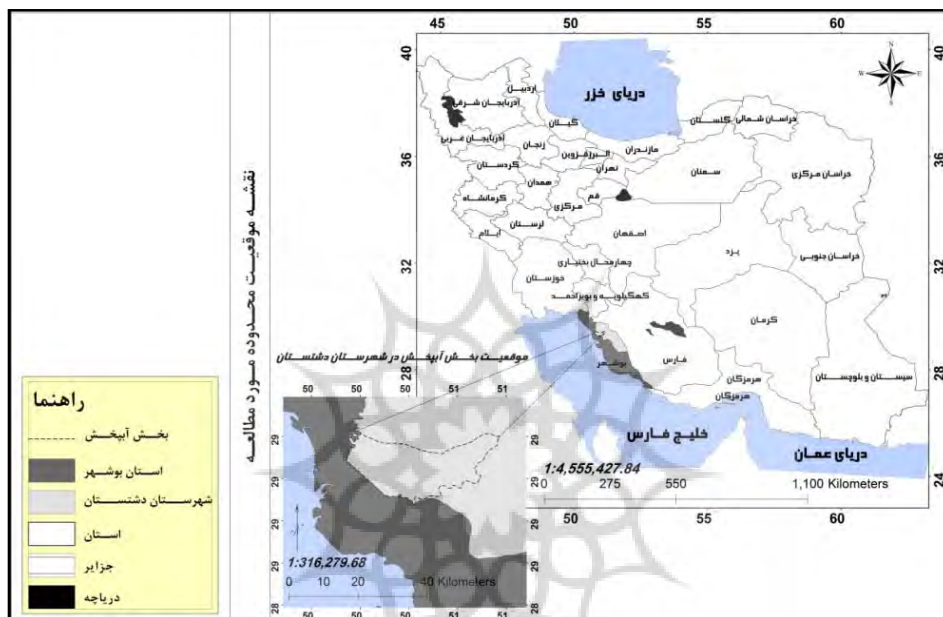
جغرافیا با تکیه بر اصول فلسفی و جهان‌بینی سیستمی، بر آن است که ضمن گویا کردن مکانیسم‌های حاکم بر محیط به‌گونه‌ای عمل کند که عملکردهای بشری در تقابل و تعارض با محیط قرار نگیرد. پس هنر یک جغرافیدان به‌عنوان یک برنامه‌ریز و مدیر محیط آن است که با اشراف و آگاهی بر عوامل مورفودینامیک طبیعی، عکس‌العمل محیط در برابر عملکردهای بشری را پیش‌بینی کرده و براساس آن و با دیدی جامع‌تر، نسبت به حل مسائل و تدوین خط‌مشی و سیاست و راهبردهای برخورد با محیط مبادرت کند. پدیده‌های مختلفی مانند زلزله، سیل، توفان و... جزئی از ذات طبیعت بوده و رخ دادن آن‌ها نشانه‌ای از شادابی و شکوفایی طبیعت است؛ اما نحوه برخورد و رفتار انسان با طبیعت و تأثیر پدیده‌های طبیعی بر زندگی انسان باعث شده که بسیاری از این پدیده‌ها را در زمرهٔ بلایای طبیعی قلمداد کند؛ بنابراین باید توجه کرد که تنها درایت و رفتار صحیح انسان است که می‌تواند از آثار زیانبار این رویدادهای طبیعی جلوگیری کرده و از مواهب آن نهایت استفاده را به‌عمل آورد (رامشت و شاهزیدی، ۱۳۹۰: ۹). زمین‌لرزه‌ها همواره جزء مهمترین مخاطرات طبیعی هستند که هر ساله تعداد بسیار زیادی از مردم جهان گرفتار آثار نامطلوب آن می‌شوند. برای کاهش تلفات جانی و اقتصادی و تبعات اجتماعی آن‌ها ضروری است که براساس دانش کنونی و آخرین فناوری‌های قابل اعتماد، از خطر وقوع زمین‌لرزه در نقاط مختلف شناختی دقیق به‌دست آورد (Kolat et al, 2012: 13). زمین‌لرزه یا زلزله، لرزش و جنبش زمین است که به‌علت آزاد شدن انرژی ناشی از گسیختگی سریع در گسل‌های پوستهٔ زمین در مدتی کوتاه روی می‌دهد. هرچند پیش‌بینی دقیق این مخاطرهٔ بزرگ طبیعی به‌صورت ۱۰۰ درصد قطعی ممکن نیست؛ ولی تعیین احتمالی مکان رخداد

یک زلزله و ارزیابی شدت لرزه‌خیزی مناطق مختلف با استفاده از روش‌های مختلف امکان‌پذیر است. تجزیه و تحلیل خطر لرزه‌ای به ارزیابی ماهیت و پتانسیل زمین‌لرزه‌ها نیاز دارد؛ بنابراین تخمین بیشینهٔ بزرگی و همچنین رخداد مجدد صفاتی که به‌ویژه به‌وسیلهٔ گسل‌های فعال ایجاد می‌شود، لازم و ضروری است. تعیین چشمه‌های بالقوهٔ زمین‌لرزه یکی از عناصر اساسی در ارزیابی خطر لرزه‌ای است که در شروع ارزیابی خطر، جایگاه منحصر به‌فردی دارد. تعریف و مشخص کردن چشمه‌های بالقوهٔ زمین‌لرزه، قسمت اصلی تحلیل خطر زمین‌لرزه است که نیاز به اطلاعات منطقه‌ای و ناحیه‌ای، زمین‌شناسی، لرزه‌خیزی و زمین‌ساختی دارد (بوستان و طاهرینیا، ۱۳۹۳: ۲۸). باید توجه داشت که قدم اول در تجزیه و تحلیل خطر لرزه‌ای، شناخت ساختار زمین‌شناسی و میزان لرزه‌خیزی مناطق مختلف در جهت مقابله با آثار مخرب آن در مناطق سکونت‌گاهی است. در همین راستا به‌منظور ارزیابی شدت لرزه‌خیزی در هر محل، روش‌های متعددی وجود دارد که تحلیل خطر زلزله تابع نوع داده‌ها و دقت موردنیاز، دورهٔ آماری و کیفیت داده‌هاست. روش‌های تحلیلی و آماری از جمله مهم‌ترین این روش‌ها می‌باشند. در روش تحلیلی با استفاده از توانایی لرزه‌خیزی گسل‌ها، اقدام به برآوردی مقدار بزرگی، شدت، شتاب و سرعت ناشی از هر گسل در سایت موردنظر می‌شود. روش آماری ارزیابی دورهٔ بازگشت رویداد زمین‌لرزه به روش‌های مختلف است. اساس کار برای تخمین خطر زمین‌لرزه، آنالیز آماری داده‌های زمین‌لرزه است که منجر به تعیین میزان احتمال وقوع مجدد زمین‌لرزه‌ها با بزرگی‌های مختلف یا به‌عبارت دیگر، فاصلهٔ زمانی اعمال شتاب‌های متفاوت می‌شود؛ بنابراین در یک دورهٔ زمانی طبق روابط ریاضی می‌توان بزرگی زمین‌لرزه‌ها را برای دورهٔ بازگشت‌های متفاوت برآورد کرد.

موقعیت محدوده مورد مطالعه

منطقه مطالعاتی، در واحد زاگرس چین خورده واقع شده و از لحاظ جغرافیایی در محدوده طول‌های جغرافیایی "۵۱°۸'۵۸،۷۰" تا "۵۰°۴۵'۱۱،۹۶" شرقی

(E) و "۲۹°۲۶'۱۴،۷۳" تا "۲۹°۲۲'۳۴،۲۰" شمالی (N) واقع شده است. این منطقه از شمال به گناوه و از سمت غرب به حوضه آبخیز شاپور- دالکی و از جنوب به اهرم محدود می‌شود (شکل ۱).



شکل ۱: موقعیت محدوده مورد مطالعه

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۶

روش تحقیق

روش تحقیق در پژوهش حاضر، توصیفی-تحلیلی، از نوع کاربردی است. در این پژوهش با استفاده از روش‌های میدانی و کتابخانه‌ای به گردآوری اطلاعات موردنیاز پژوهش پرداخته و سپس با استفاده از نرم‌افزارهای AutoCad, Excel, ARC GiS, و Google Earth و روش‌های AHP, Dematel, و میانگین رتبه‌ها در دو مرحله به بررسی موضوع مورد مطالعه پرداخته شده است؛ بدین صورت که در مرحله اول با استفاده از نقشه‌های ۱:۱۰۰۰۰۰ زمین‌شناسی و نقشه‌های ۱:۵۰۰۰۰ توپوگرافی، سری k753، برگ 6248IV و سری k753، برگ 6148I، نقشه عمق

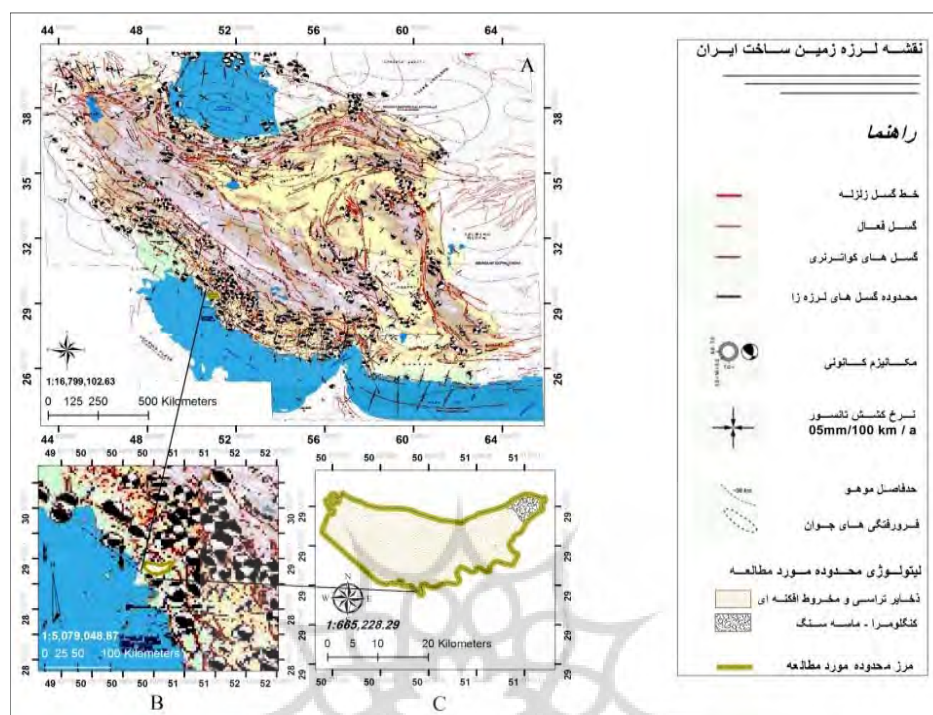
خاک (برگرفته از طرح جامع و تفصیلی شهر آبخش و برگرفته از سازمان جغرافیایی کشور) مدل رقومی ارتفاعی (DEM)، تصاویر ماهواره‌ای، گردآوری ۱۱۱۲ کانون لرزه‌خیزی ثبت شده در شعاع ۶۰۰ کیلومتری محدوده مطالعاتی، به تهیه نقشه‌های مبنا پرداخته شد و سپس در مرحله دوم با استفاده از روش AHP به وزن‌دهی زیرمعیارها و با روش‌های DEMATEL و AHP به وزن‌دهی معیارهای اصلی پژوهش و در نهایت به ترسیم تهیه نقشه نهایی پهنه‌بندی لرزه‌خیزی در بخش آبخش پرداخته شد.

یافته‌های پژوهش

زمین‌شناسی

استان بوشهر با واقع شدن در بخش جنوبی ایالت زمین‌ساختی - رسوبی زاگرس، با سنگ‌شناسی رسوبی از نوع تبخیری و تخریبی تشکیل شده است (فخری و همکاران، ۱۳۸۶: ۳۹۱). بخش بیشتر استان بوشهر مورفولوژی بلند و کوهستانی دارد. با این حال، در بخش‌های ساحلی سیمای فیزیوگرافیک استان دشتگونه است؛ به همین دلیل، استان دو ریختار متفاوت دارد. واحد مورفولوژیک کوهسار، همانند سایر نواحی زاگرس، روند شمال باختر جنوب خاور دارد که شامل تناوبی از تاق‌دیس‌های نامتقارن و ناودیس‌های فشرده به سمت جنوب است. دشت ساحلی استان زایش فرسایشی دارد که نواحی کوهپایه‌ای تا سواحل دریا را زیر پوشش دارند. بخش شمال باختری استان، از برازجان تا گناوه، قسمتی از گودال خوزستان است که کهن‌ترین رخنمون سنگی آن بخشی از ردیف‌های آواری گروه فارس است که رخساره توالی‌های همزمان با کوهزایی دارند و ساخت‌های رسوبی آن‌ها، معرف انباشت در یک حوضه رسوبی پسرورنده به سمت جنوب است (آقانیاتی، ۱۳۸۹: ۱۰). که بخش عمده‌ای از شهرستان دشتستان از جمله بخش آبپخش را شامل می‌شود. به‌طور کلی ساختار این محدوده از نوع ذخایر تراسی و مخروط‌افکنه‌ای کوهپایه‌ای جدید کم‌ارتفاع است

(شکل ۲). علاوه بر آن، با توجه به قرار گرفتن شهرستان دشتستان و دیگر شهرستان‌های استان بوشهر در محدوده زون زمین‌ساختی زاگرس، وجود پلاتفرم پرکامبرین عربستان در جنوب و جنوب غرب ناحیه و حرکات فرورانش آن در امتداد تراس زاگرس، احتمال رخداد زلزله‌های خطرناک که دارای منشأ ساختمانی هستند، در این مناطق زیاد است. همچنین با توجه به خصوصیات زمین‌شناختی، مهم‌ترین عوارض زمین‌ساختی و مورفولوژیکی که طی تکوین ساختمان زمین‌شناسی در این محل به چشم می‌خورند عبارت‌اند از: گسل‌ها، چین‌خوردگی و گنبد‌های نمکی. این فعالیت‌های ساختمانی در طی ادوار مختلف زمین‌شناختی شامل پیدایش حوضه‌های رسوبی مجزا و فرونشینی آن‌ها و بالآمدگی بخش‌های مجاور را موجب شده و این امر به‌نوبه خود باعث ایجاد عدم تعادل و زلزله‌خیزی در منطقه شده است. با توجه به سهم نسبی رویداد زلزله‌های زون ساختمانی زاگرس که حدود ۵۰ درصد از زلزله‌های روی داده در زون‌های مختلف ساختمانی ایران را شامل می‌شود و همچنین با توجه به آمار موجود که بزرگی زلزله‌های کمتر از ۴ ریشتر را در حدود ۱/۵ درصد در این زون ساختمانی ذکر می‌کنند، می‌توان به بالابودن میزان مخاطرات جانی و مالی ناشی از ناآرامی پوسته زمین ناحیه و در نتیجه حرکات زمین‌لرزه پی برد (شرکت مهندس مشاور پارسوماش، ۱۳۸۸: ۷۸).



شکل ۲: نقشه موقعیت زمین شناسی منطقه مورد مطالعه در نقشه لرزه زمین ساخت ایران

تهیه و ترسیم: نگارنده با اقتباس از سازمان اکتشافات و زمین شناسی معدنی کشور، ۱۳۹۴

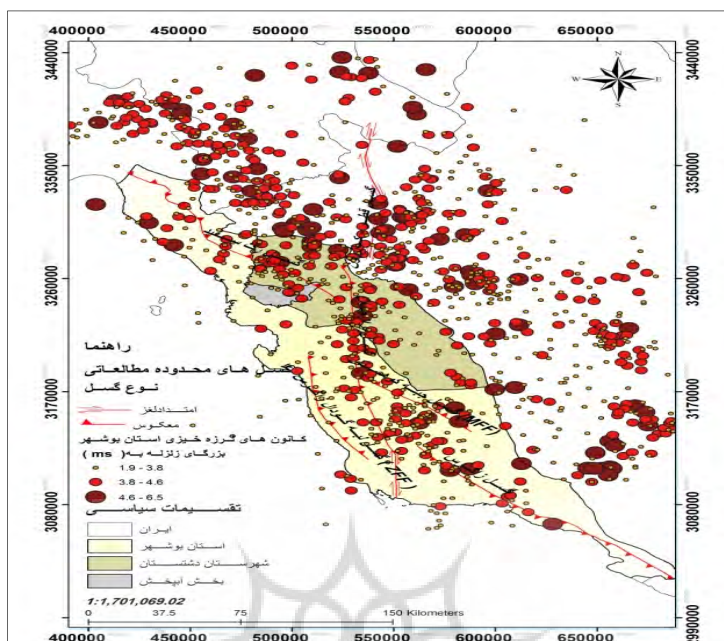
توضیحات: (A: نقشه لرزه زمین ساخت ایران، B: موقعیت زمین شناسی بخش آبپخش در نقشه لرزه زمین ساخت ایران،

C: نقشه زمین شناسی بخش آبپخش)

پیشینه لرزه خیزی محدوده مورد مطالعه

مطابق با ۱۱۱۲ کانون لرزه خیزی ثبت شده در شعاع ۲۰۰ کیلومتری محدوده مورد مطالعه قدیمی ترین لرزه خیزی در این محدوده، مربوط به زلزله سال ۳۵۷ هـ.ش. در بندر سیراف با بزرگای ۵/۳ در مقیاس امواج سطحی Ms و جدیدترین لرزه خیزی مربوط به زلزله سال ۱۳۹۶ با بزرگای ۳/۴ در ۶ کیلومتری

شمال شهر سعدآباد است. همچنین سایر رخداد های لرزه خیزی تاریخی در این محدوده بنا به داده های گردآوری شده و گزارش زمین لرزه پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله در تاریخ ۲۰ فروردین ۱۳۹۲ به صورت خلاصه به ترتیب عبارت اند از: ۳۸۷ هـ.ش. سیراف با بزرگای ۶/۵ Ms و ۳۰ آذر ۱۲۴۱ هـ.ش. شیراز با بزرگای ۶/۲ Ms.



شکل ۳: کانون‌های لرزه‌خیزی و گسل‌های تأثیرگذار بر منطقه مورد مطالعه

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۶

بخش آبپخش یکی از لرزه‌خیزترین بخش‌های استان بوشهر به‌شمار می‌رود. این منطقه، به‌علت وجود گسل‌های متعدد و فعال قطر-کازرون، برازجان، رگ سفید و زاگرس، همواره در معرض زمین‌لرزه‌های متعدد و گهگاه شدید با حداکثر بزرگای ۵ ریشتر قرار گرفته است. از آنجا که بزرگای زمین‌لرزه‌ها از دیرباز تاکنون در این ناحیه اکثراً در مقیاس‌های مختلف

بسیار ضروری است که همه روابط یکسان‌سازی شوند؛ از این رو در پژوهش حاضر ابتدا با استفاده از روش تبدیل بزرگای پیشنهادی علیزاده، چناری و پورزینلی به تبدیل انواع بزرگا در ایران به Ms پرداخته و بعد از آن جهت تهیه نقشه پهنه‌بندی لرزه‌خیزی در محدوده مورد مطالعه از روابط ۱ تا ۸ استفاده شد.

جدول ۱: روش تبدیل انواع بزرگا به Ms پیشنهادی علیزاده، چناری و پورزینلی برای ایران

Magnitude	$M \leq 5$	$5 < M < 7$
ML	$0/671ML + 0/879$	$0/272ML - 1/641ML + 5/711$
Mb	$MS = 1/14mb - 1/136$	$MS = 0/334mb - 1/93mb + 5/831$
MW	$1/136MW - 2/403$	

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۶

گسل‌ها در محدوده مطالعاتی تفاوت چندانی با هم ندارند. با این حال، مطابق با محاسبات گسل برازجان با طول ۱۸۸ کیلومتر و توان لرزه‌زایی ۵ دارای بیشترین توان لرزه‌زایی و گسل جبهه کوهستان (MFF) با طول ۷۴/۴۰ کیلومتر و توان لرزه‌زایی

الف) تعیین حداکثر توان لرزه‌زایی گسل در محدوده مورد مطالعه (A) در این مرحله با استفاده از روابط زیر حداکثر توان لرزه‌زایی گسل‌های محدوده مورد مطالعه محاسبه شد. بر این اساس، توان لرزه‌زایی همه

رابطه ۳:

$$\log L = -0.126 + 0.675 Ms$$

رابطه ۴:

$$Ms = 1/40.4 + 1/169 \log L$$

توضیحات: در این روابط، M: بزرگی زلزله در مقیاس ریشتر و در روابط ۱ و ۲ L: طول گسل به کیلومتر است. همچنین در روابط ۳ و ۴ L: نصف طول کل گسل به متر است.

۴/۷۳ از کمترین توان لرزه‌زایی برخوردار است. مطابق با روابط ۱ تا ۴ و محاسبات (جدول ۲) میان طول گسل و توان لرزه‌زایی روابط مستقیمی وجود دارد؛ به طوری که هرچه طول گسل در محدوده مورد مطالعه کمتر می‌شود، از توان لرزه‌زایی آن نیز کاسته می‌شود.

رابطه ۱:

$$M = \log L + 5/4$$

رابطه ۲:

$$\log LR = 0.7 M - 3/24$$

جدول ۲: حداکثر توان لرزه‌زایی گسل‌های تأثیرگذار بر محدوده مورد مطالعه

نام گسل	طول گسل به کیلومتر	ریشتر			
		M	LogLR	Ms	LogL
رگ سفید	۱۵۷	۱۰/۴۶	۴	۳/۲۶	۲/۰۸
برازجان	۱۸۸	۱۰/۶۴	۴	۳/۲۸	۲/۰۹
گسل لبه گودال زاگرس (ZFF)	۹۰	۹/۹۰	۴	۳/۲۰	۲/۰۳
گسل زاگرس	۱۶۵	۱۰/۵۱	۴	۳/۲۷	۲/۰۸
گسل کارزون	۱۰۶	۱۰/۰۶	۴	۳/۲۲	۲/۰۵
گسل جبهه کوهستان (MFF)	۷۴/۴۰	۹/۷۱	۴	۳/۱۸	۲/۰۲

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۶

رابطه ۶:

$$I = 1.3 Ms - 0.09 \quad (C)$$

در این روابط I شدت زلزله در مقیاس مرکالی و Ms بزرگی زلزله در مقیاس ریشتر است.

پ) تعیین حداکثر شتاب زلزله‌های ایجاد شده به وسیله گسل‌ها در محدوده مورد مطالعه

در این مرحله ابتدا با استفاده از ابزار Multiple Ring Buffer در محیط نرم‌افزار ArcGis اقدام به تهیه نقشه فواصل گسل برحسب توان لرزه‌زایی شد و سپس با استفاده از رابطه ۷ حداکثر شتاب برای هر یک از گسل‌ها در محدوده مطالعاتی محاسبه شد (جدول ۲).

ب) تعیین حداکثر شدت زلزله‌های ایجاد شده در کانون‌های زلزله

در این مرحله، ابتدا با استفاده از روابط جدول (۱) انواع بزرگای زمین‌لرزه (Mw، Mb و MI) در محدوده مورد مطالعه به بزرگای Ms تبدیل و سپس با استفاده از روابط ۵ و ۶ میزان شدت زلزله برای هر کانون محاسبه شد. مطابق با محاسبات، حداکثر شدت زلزله در کانون‌های لرزه‌خیزی محدوده مورد مطالعه ۵، حداقل ۳/۹ ریشتر و به صورت میانگین ۴/۶ ریشتر است.

رابطه ۵:

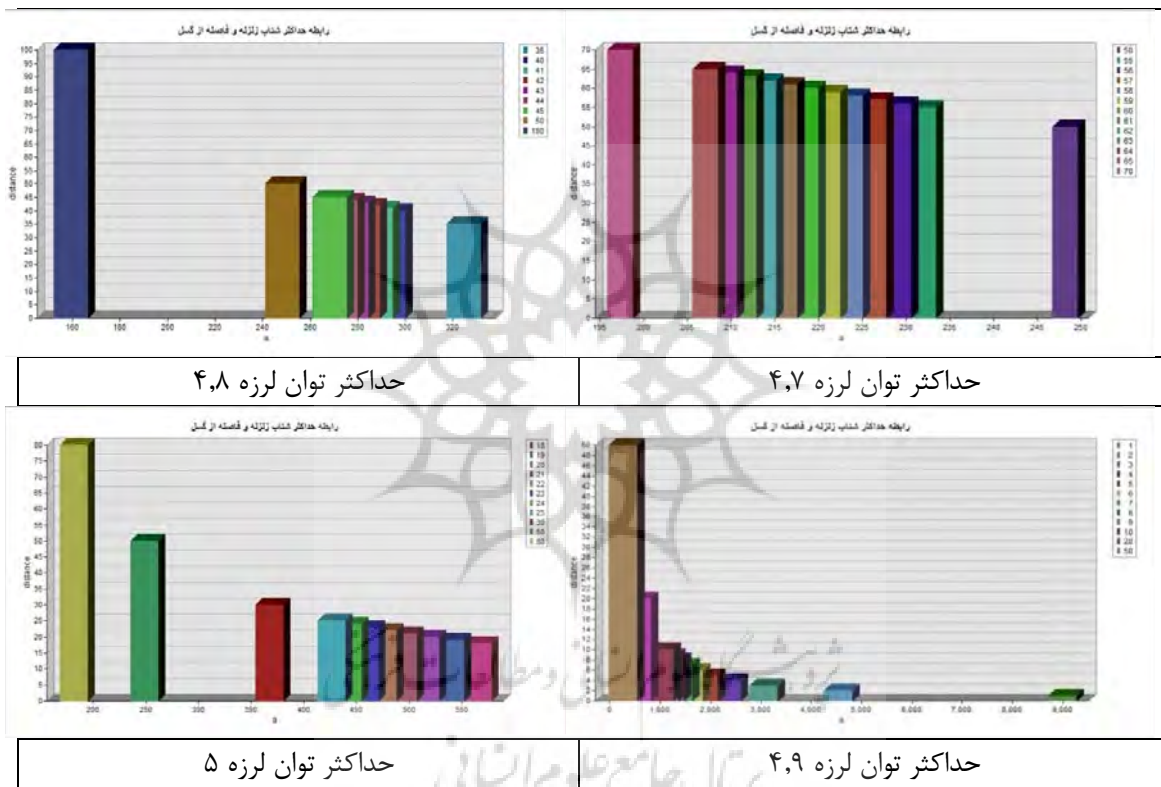
$$I = 1.7 Ms - 2.8 \quad (B)$$

نکته: در این رابطه، a : حداکثر شتاب در مقیاس گال، e : ضریب ثابت و معادل $۲/۷۱۸$ ، M : بزرگی زلزله در مقیاس ریشتر و R : فاصله از گسل برحسب کیلومتر است. بر این اساس با افزایش فاصله از گسل‌های محدوده مطالعاتی، میزان شتاب نیز در این محدوده کاهش می‌یابد (شکل ۴).

توضیحات: به دلیل حجم بالای داده‌ها نتایج این محاسبات به طور خلاصه در این جدول درج شده است.

$$a = \frac{1080e^{0.5M}}{(R+25)^{1.32}}$$

دونووان (اسفندیاری و همکاران، ۱۳۹۳: ۲۲)



شکل ۴: نمودار حداکثر توان لرزه‌ای گسل‌ها

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۶

جدول ۳: شدت زلزله در کانون‌های لرزه‌خیزی تاریخی و دستگاهی

I	C	B	Ms بزرگا به ریشتر	نوع داده	تاریخ رخداد	عرض	طول
۴/۵۹	۵/۲۴	۳/۹۴	۳/۹	دستگاهی	۲۰۱۷	۲۹/۶	۵۰/۹۱
۳/۹۸	۴/۷۲	۳/۲۵	۳/۵	دستگاهی	۲۰۱۶	۲۹/۴۸	۵۰/۵۸
۵	۵/۸۱	۴/۶۸	۴/۴	تاریخی	۲۰۰۳	۲۹/۵۳	۵۰/۹۳
۳/۳۸	۴/۱۹	۲/۵۷	۳/۴	تاریخی	۱۹۰۵	۲۹/۴۳	۵۱/۱۵
۶/۵۹	۶/۹۸	۶/۲۱	۵/۳	تاریخی	۹۷۸	۲۷/۷	۵۰/۳

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۶

تکنیک AHP

مرحله اول: تشکیل ساختار سلسله‌مراتبی

مرحله دوم: تهیه پرسشنامه و تشکیل ماتریس

مقایسات زوجی: این مرحله شامل تهیه پرسشنامه

برپایه ساختار سلسله‌مراتبی (شکل ۵) و جدول درجه اهمیت مقایسات زوجی (جدول ۴) می‌شود.



شکل ۵: ساختار سلسله‌مراتبی نقشه پهنه‌بندی لرزه‌خیزی بخش آبخش

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۶

جدول ۴: درجه اهمیت مقایسات زوجی

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

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۶

به‌دست‌آمده معرف وزن هر عامل است (عظیمی
حسینی و همکاران، ۱۳۹۰: ۷۴).

مرحله سوم (محاسبه وزن): برای محاسبه وزن
عوامل میانگین هر ردیف محاسبه می‌شود که عدد

ب: محاسبه نرخ ناسازگاری (RI): این مرحله از تقسیم شاخص ناسازگاری بر شاخص ناسازگاری ماتریس تصادفی، مطابق فرمول زیر محاسبه می‌شود. فرمول ۲:

$$I.I. = \frac{I.I.}{R.I.}$$

مرحله چهارم: محاسبه نرخ ناسازگاری: این مرحله شامل سه مرحله می‌شود:

الف: بردار ویژه (λ_{max}):

ب: محاسبه مقدار شاخص ناسازگاری ($I.I.$): این مرحله مطابق با فرمول زیر محاسبه می‌شود:

$$I.I. = \frac{\lambda_{max} - N}{N - 1} \quad \text{فرمول ۱:}$$

جدول ۵: شاخص تصادفی بودن

۱۰	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	n
۱/۴۹	۱/۴۵	۱/۴۱	۱/۳۲	۱/۲۴	۱/۱۲	۰/۹	۳/۵۸	۰	RI

مأخذ: حکمت‌نیا، ۱۳۹۲: ۳۵۳

جدول ۶: وزن پارامترها براساس روش AHP

رتبه	وزن	شاخص‌ها
۱	۰/۲۵۹	توان لرزه‌زایی گسل
۲	۰/۲۵۱	شدت زلزله
۳	۰/۱۵۵	بزرگای زلزله
۴	۰/۱۵۴	میزان شتاب زلزله
۵	۰/۱۱۶	عمق کانون زلزله
۶	۰/۰۲۴	مواد مادری
۷	۰/۰۲۰	عمق خاک
۸	۰/۰۱۷	شیب

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۶

روابط تأثیرپذیری و تأثیرگذاری عوامل تشکیل می‌شود.

مرحله اول (تشکیل ماتریس ارتباطات مستقیم): در این مرحله از قضاوت خبرگان استفاده می‌شود (Celik, 2015: 245) و از متخصصان خواسته شده تا مطابق با جدول زیر پارامترها را اولویت‌بندی کنند.

روش Dematel: اثرات روش تصمیم‌گیری (Dematel) در فهم و حل و فصل مسائل پیچیده به اثبات رسیده است (Bacudio, 2016: 3). این روش با استفاده از اصول تئوری گراف‌ها در ایجاد ساختار سیستم به صورت گراف‌های جهت‌دار و عناصر تشکیل‌دهنده آن براساس نظر خبرگان، ساختار سلسله‌مراتبی و از

جدول ۷: درجه اهمیت مقایسات براساس روش Dematel

تأثیر خیلی زیاد	تأثیر زیاد	تأثیر کم	تأثیر خیلی کم	بدون تأثیر	ترجیحات
۴	۳	۲	۱	۰	مقدار عددی

مأخذ: (Bacudio, 2016)

همچنین k از طریق فرمول زیر محاسبه می‌شود.

$$k = \frac{1}{\max \sum_{j=1}^n a_{ij}} \quad \text{فرمول ۳:}$$

مرحله دوم: محاسبه ماتریس شدت نسبی حاکم بر

روابط مستقیم: (در این مرحله ابتدا هر متغیر را در معکوس بیشترین مجموع ردیفی (k) ضرب می‌کنیم.

جدول ۸: جدول ماتریس اولیه ارتباطات مستقیم (M)

شاخص‌ها	توان لرزه‌زایی گسل	شدت زلزله	میزان شتاب زلزله	بزرگای زلزله	عمق کانون زلزله	شیب	مواد مادری	عمق خاک
توان لرزه‌زایی گسل	۰	۰/۰۸	۰/۱۲	۰/۱۲	۰/۱۲	۰/۱۶	۰/۱۶	۰/۱۶
شدت زلزله	۰/۰۲	۰	۰/۰۸	۰/۰۸	۰/۰۴	۰/۱۶	۰/۱۶	۰/۱۶
میزان شتاب زلزله	۰/۰۱	۰/۰۲	۰	۰/۰۴	۰/۰۸	۰/۱۶	۰/۱۶	۰/۱۶
بزرگای زلزله	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۴	۰	۰/۰۸	۰/۱۶	۰/۱۶	۰/۱۶
عمق کانون زلزله	۰/۰۱	۰/۰۴	۰/۰۲	۰/۰۲	۰	۰/۱۶	۰/۱۶	۰/۱۶
شیب	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰	۰/۰۲	۰/۰۲
مواد مادری	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۸	۰	۰/۰۴
عمق خاک	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۸	۰/۰۴	۰

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۶

ماتریس واحد در واقع ماتریسی است که همه درایه‌ها سلول‌های اصلی آن، عدد ۱ و به سایر سلول‌های آن صفر تعلق می‌گیرد.

$$M \times (I - M)^{-1} \quad \text{فرمول ۵:}$$

$$k = \frac{1}{23} = 0/04 \quad \text{فرمول ۴:}$$

مرحله سوم: محاسبه ماتریس شدت نسبی ممکن از کلیه روابط مستقیم و غیرمستقیم: این مرحله از طریق فرمول زیر محاسبه می‌شود. در این فرمول، I ماتریس واحد است.

جدول ۹: ماتریس شدت نسبی ممکن از همه روابط مستقیم و غیرمستقیم

شاخص‌ها	توان لرزه‌زایی گسل	شدت زلزله	میزان شتاب زلزله	بزرگای زلزله	عمق کانون زلزله	شیب	مواد مادری	عمق خاک	R
توان لرزه‌زایی گسل	۰	۰/۰۰۵	۰/۰۱۲۸	۰/۰۱۲۸	۰/۰۱۱۸	۰/۰۱۳۶	۰/۰۱۵۲	۰/۰۱۵۲	۰/۰۸۶۹
شدت زلزله	۰/۰۰۰۳	۰	۰/۰۰۵۸	۰/۰۰۵۸	۰/۰۰۰۹	۰/۰۱۸۰	۰/۰۲۰۰	۰/۰۲۰۰	۰/۰۷۰۷
میزان شتاب زلزله	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۲	۰	۰/۰۰۱۳	۰/۰۰۵۸	۰/۰۱۹۲	۰/۰۲۱۴	۰/۰۲۱۴	۰/۰۶۹۴
بزرگای زلزله	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۱۳	۰	۰/۰۰۵۸	۰/۰۱۹۲	۰/۰۲۱۴	۰/۰۲۱۴	۰/۰۶۹۴
عمق کانون زلزله	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۱۴	۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۰۲	۰	۰/۰۲۰۵	۰/۰۲۲۸	۰/۰۲۲۸	۰/۰۶۸۰
شیب	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱	۰	۰/۰۰۰۳	۰/۰۰۰۳	۰/۰۰۰۹
مواد مادری	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۵۸	۰	۰/۰۰۱۳	۰/۰۰۷۵
عمق خاک	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۵۸	۰/۰۰۱۳	۰	۰/۰۰۷۵
J	۰/۰۰۰۹	۰/۰۰۷۷	۰/۰۰۲۳	۰/۰۰۲۳	۰/۰۰۲۴۶	۰/۱۰۲	۰/۱۰۲۳	۰/۱۰۲۳	۰/۳۸۰۳

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۶

مرحله چهارم: ایجاد نمودار علی

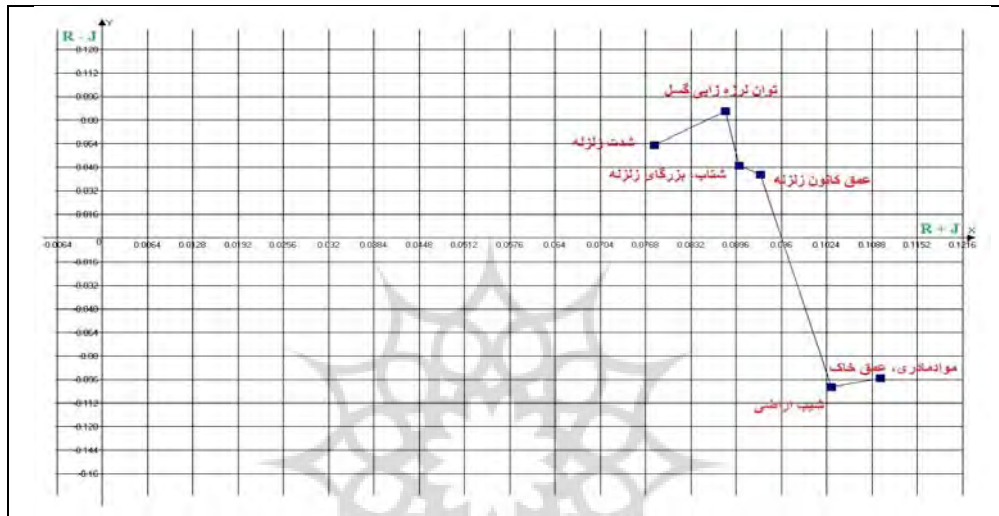
هر عامل با دیگر عوامل است. به عبارت دیگر، هرچه مقدار (R+J) هر پارامتر بیشتر باشد، بیانگر تعامل بیشتر آن عامل با سایر عوامل است.

۴- (R-J): مقدار نهایی اثرگذاری هر عامل بر سایر عوامل است.

۱- (R): جمع عناصر هر سطر و نشان‌دهنده میزان تأثیرگذاری آن عامل بر سایر عامل‌های سیستم است.

۲- (J): جمع عناصر هر ستون و نشانگر میزان تأثیرپذیری آن عامل از سایر عوامل سیستم است.

۳- (R+J): میزان تأثیر و تأثر عوامل و نشانگر تعامل



شکل ۷: گراف نهایی

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۶

جدول ۱۰: وزن پارامترها براساس روش Dematel

رتبه	R-J	R+J	J	R	شاخص‌ها
۱	۰/۰۸۶	۰/۰۸۸	۰/۰۰۱	۰/۰۸۷	توان لرزه‌زایی گسل
۲	۰/۰۶۳	۰/۰۷۸	۰/۰۰۸	۰/۰۷۱	شدت زلزله
۳	۰/۰۴۹	۰/۰۹۰	۰/۰۲۰	۰/۰۶۹	میزان شتاب زلزله
۴	۰/۰۴۹	۰/۰۹۰	۰/۰۲۰	۰/۰۶۹	بزرگای زلزله
۵	۰/۰۴۳	۰/۰۹۳	۰/۰۲۵	۰/۰۶۸	عمق کانون زلزله
۸	-۰/۱۰	۰/۱۰۳	۰/۱۰۲	۰/۰۰۱	شیب
۶	-۰/۰۹	۰/۱۱۰	۰/۱۰۲	۰/۰۰۷	مواد مادری
۷	-۰/۰۹	۰/۱۱۰	۰/۱۰۲	۰/۰۰۷	عمق خاک

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۶

می‌توان از روش‌های ادغام گوناگون مانند (روش میانگین رتبه‌ها، روش بردا و روش کپلند) استفاده کرد. روش ادغام در پژوهش حاضر روش میانگین رتبه‌هاست.

استراتژی‌های اولویت‌بندی

ممکن است با توجه به تکنیک‌های مختلفی که در بالا ذکر شد، رتبه‌بندی‌های متفاوتی برای یک مسئله واحد به دست آید؛ بنابراین برای حل این مشکل

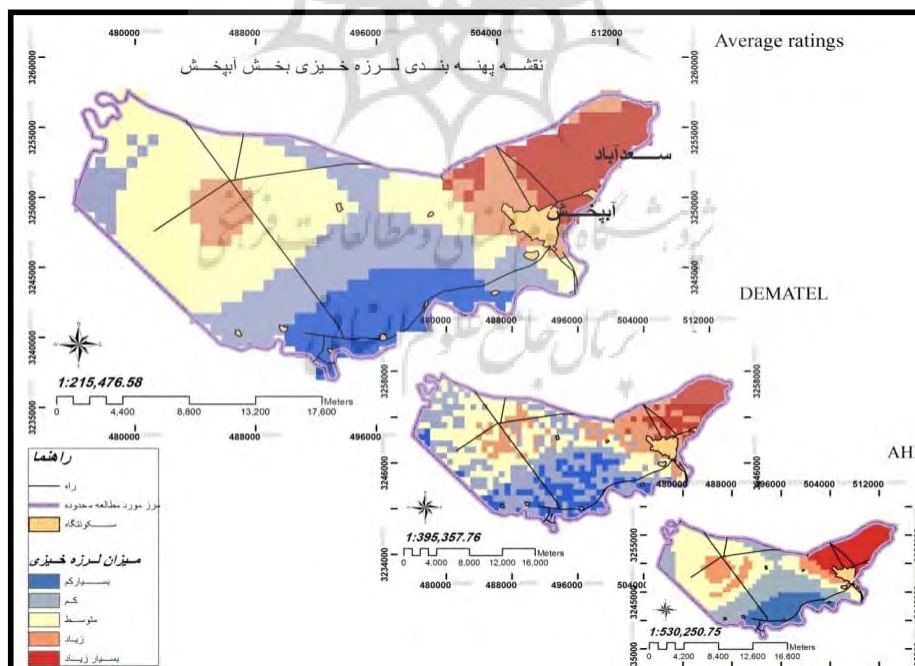
جدول ۱۱: رتبه بندی شاخص‌ها با استفاده از روش میانگین

وزن نهایی					
رتبه نهایی	میانگین رتبه‌ها	جمع	DEMATEL	AHP	شاخص‌ها
۱	۰/۱۷۳	۰/۳۴۵۱	۰/۰۹	۰/۲۵۹۰	توان لرزه‌زایی گسل
۲	۰/۱۵۷	۰/۳۱۴۶	۰/۰۶	۰/۲۵۱۶	شدت زلزله
۳	۰/۱۰۲	۰/۲۰۴۲	۰/۰۵	۰/۱۵۵۰	بزرگای زلزله
۴	۰/۱۰۲	۰/۲۰۳۹	۰/۰۵	۰/۱۵۴۸	میزان شتاب زلزله
۵	۰/۰۸۰	۰/۱۶۰۱	۰/۰۴	۰/۱۱۶۷	عمق کانون زلزله
۶	-۰/۰۳۵	-۰/۰۷۰۰	-۰/۰۹	۰/۰۲۴۸	مواد مادری
۷	-۰/۰۳۷	-۰/۰۷۳۹	-۰/۰۹	۰/۰۲۰۹	عمق خاک
۸	-۰/۰۴۲	-۰/۰۸۳۹	-۰/۱۰	۰/۰۱۷۱	شیب

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۶

در هر روش، نقشه توان لرزه‌خیزی مجزا در محیط نرم‌افزار ArcGis تهیه شد (شکل ۸). لازم به ذکر است که در پژوهش حاضر همه اوزان با استفاده از نرم‌افزار اکسل محاسبه شده است.

مرحله نهایی (تلفیق نقشه‌ها و تولید نقشه نهایی): این مرحله از همپوشانی نقشه‌های وزن‌دار با روش‌های AHP Dematel و میانگین رتبه‌ها به‌دست می‌آید؛ به‌طوری که از تلفیق لایه‌های وزن‌دهی شده



شکل ۸: نقشه پهنه‌بندی لرزه‌خیزی بخش آببخش

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۶

نتیجه

بخش آبپخش یکی از لرزه‌خیزترین بخش‌های استان بوشهر به‌شمار می‌رود. این منطقه، به‌علت وجود گسل‌های متعدد و فعال قطر- کازرون، برازجان، رگ سفید و زاگرس، همواره در معرض زمین‌لرزه‌های متعدد و گهگاه شدید با حداکثر بزرگای ۵ ریشتر قرار گرفته است؛ از این‌رو در پژوهش حاضر پس از تهیه نقشه‌های پایه لرزه‌خیزی چون: عمق کانون‌های لرزه‌خیزی، توان لرزه‌خیزی، شتاب و شدت زمین‌لرزه و عمق خاک اقدام به وزن‌دهی پارامترها کرده و در نهایت با استفاده از سه مدل سیستم تحلیل سلسله‌مراتبی، Dematel و میانگین رتبه‌ها به بررسی، ارزیابی وضعیت لرزه‌خیزی بخش آبپخش و ترسیم نقشه پهنه‌بندی لرزه‌خیزی در این ناحیه پرداختیم. همچنین نکته حائز اهمیت در این پژوهش یکسان‌بودن پارامترها برای هر سه مدل است. نتایج تحقیق نشان می‌دهد که:

۱- براساس بررسی‌های انجام‌شده با روش Dematel هرچه مقدار R-J هر پارامتر بیشتر باشد، آن عنصر تأثیرگذارترین پارامتر نسبت به سایر پارامترها بوده و بیشترین رتبه را به خود اختصاص می‌دهد. همچنین هرچه میزان R+J بیشتر باشد، آن عامل تعامل بیشتری با سایر عوامل دارد. بر این اساس و مطابق با محاسبات انجام‌شده، توان لرزه‌زایی گسل و شدت زلزله به ترتیب با R-J: (۰,۰۸۶ و ۰,۰۶۳) تأثیرگذارترین عوامل و مواد مادری و عمق خاک با R+J (۰,۱۱۰) و شیب با R+J (۰,۱۰۳) متعامل‌ترین پارامترها در زمینه توان لرزه‌خیزی بخش آبپخش هستند. به عبارت دیگر در این ناحیه هرچه شیب زمین کمتر، لیتولوژی مقاوم‌تر و عمق خاک کمتر باشد، تأثیر کمتری از پارامترهای توان لرزه‌زایی گسل و شدت زلزله خواهد پذیرفت و در نتیجه اراضی دارای

این شرایط در بخش آبپخش در برابر زلزله مقاوم‌تر خواهند بود.

۲- هرچند دو مدل Dematel و روش تحلیل سلسله‌مراتبی هر دو به مقایسه زوجی هر عنصر نسبت به سایر پارامترها می‌پردازد، با این حال تفاوت‌هایی میان این دو روش وجود دارد؛ مدل Dematel صرفاً به تأثیرگذاری و تأثیرپذیری یک عنصر نسبت به سایر پارامترها پرداخته و مدل Ahp به مقایسه وزن طبقات هر معیار براساس ترجیح یک طبقه نسبت به تمام طبقات آن معیار می‌پردازد، از این‌رو مدل تحلیل سلسله‌مراتبی به دلیل عدم تأثیرگذاری یا تأثیرپذیری، نتایج بهتری را ارائه می‌دهد. در این پژوهش با توجه به تضاد نتایج نهایی وزن‌دهی پارامترها، در این نوشتار به ادغام اوازن با استفاده از روش میانگین رتبه‌ها پرداخته شد؛ در نتیجه با استناد به بررسی‌ها و (شکل ۸)، هرچه به سمت شمال غرب این بخش پیشروی کنیم، بر شدت لرزه‌خیزی محدوده افزوده می‌شود.

منابع

- ادیب، احمد؛ پیمان افضل؛ معصومه زارع (۱۳۹۵). پهنه‌بندی لرزه‌ای شرق استان یزد براساس زلزله‌ها و گسل‌های کواترنر با استفاده از مدلسازی فرکتالی، مجله زمین‌شناسی کاربردی پیشرفته. دانشگاه شهید چمران اهواز. شماره ۲۲. صفحات ۷۸-۸۸.
- اسفندیاری، فریبا؛ عطا غفای‌گیلانده؛ خداداد لطفی (۱۳۹۳). بررسی توان لرزه‌زایی گسل‌ها و برآورد تلفات انسانی ناشی از زلزله در مناطق شهری (مطالعه موردی: شهر اردبیل)، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی. سال دوم. شماره ۴. صفحات ۳۶-۱۷.
- آقائاتی، سیدعلی (۱۳۸۹). زمین‌شناسی و توان معدنی استان بوشهر، مجله رشد آموزش زمین‌شناسی. شماره ۶۲. صفحات ۱۷-۱۰.

- حکمت‌نیا، حسن؛ میرنجف موسوی (۱۳۹۲). کاربرد مدل در جغرافیا با تأکید بر برنامه‌ریزی شهری و ناحیه‌ای، چاپ سوم. تهران. انتشارات آزادپیما
- بوستان، الهام؛ نادیا طاهرینیا (۱۳۹۳). پهنه‌بندی لرزه‌ای شهر کرج و نواحی مجاور، فصلنامه زمین. سال نهم، شماره ۳۴. صفحات ۴۱-۲۷.
- رامشت، محمدحسین؛ سمیه‌السادات شاهزیدی (۱۳۹۰). کاربرد ژئومورفولوژی در برنامه‌ریزی (ملی، منطقه‌ای، ناحیه‌ای)، تهران. انتشارات سمت.
- رزاقیان، غزاله؛ علی بیت‌الهی؛ محسن پورکرمانی؛ مهران آربین (۱۳۹۲). پهنه‌بندی گستره ایران بر پایه ضرایب لرزه‌خیزی، مجله علوم زمین. سال ۲۳. شماره ۹۰. صفحات ۱۰۴-۹۰.
- سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور (۱۳۹۴). نقشه لرزه‌زمین‌ساخت ایران، وزارت صنعت، معدن و تجارت.
- سلیمانی‌ساردو، مهدیه (۱۳۹۵). ارزیابی وضعیت لرزه‌خیزی و آسیب‌پذیری کالبدی و جمعیتی شهر رفسنجان با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد. رشته جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری. دانشگاه شهید باهنر کرمان.
- شهابی، هیمن؛ محمدحسین قلی‌زاده؛ هادی نیری (۱۳۹۰). پهنه‌بندی خطر زمین‌لرزه با روش تحلیل چندمعیاره فضایی، مجله جغرافیا و توسعه. شماره ۲۱. صفحات ۸۰-۶۵.
- صیامی، غدیر؛ کاظم تقی‌نژاد؛ علی زاهدی‌کلاکی (۱۳۹۴). آسیب‌شناسی لرزه‌ای پهنه‌های شهری با استفاده از تحلیل سلسله‌مراتبی معکوس و GIS (مطالعه موردی: شهر گرگان)، فصلنامه مطالعات برنامه‌ریزی شهری. سال سوم. شماره نهم. صفحات ۶۳-۴۳.
- عظیمی‌حسینی، محمد (۱۳۹۰). کاربرد GIS در مکان‌یابی، تهران. انتشارات مهرگان قلم. چاپ دوم.
- فخری، فرهاد؛ سیدمحمی‌الدین جعفری؛ محمد خسروشاهی (۱۳۸۶). بررسی عوامل زمین‌شناختی مؤثر بر تشکیل بیابان‌های استان بوشهر و تعیین قلمرو آن، فصلنامه علمی- پژوهشی تحقیقات مرتع و بیابان ایران. سال چهاردهم. شماره سوم. صفحات ۴۰۲-۳۹۱.
- Bonini, M., Giacomo, C., Sokoutis, D., Vannucci, G., Gasperini, P. & Cloetingh, S (2003). Insights from scaled analogue modelling into theseismotectonics of the Iranian region, *Tectonophysics* 376, 137-149.
- Bacudio, L.R (2016). Analyzing barriers for implementing industrial symbiotic, *Sustainable Production and Consumption*, PP. 1-9
- Celik, Erkan, Akyuz, Emre (2015). A fuzzy DEMATEL method to evaluate critical operational hazards during gas freeing process in crude oil tankers, *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, Volume 38, PP. 243-253
- Kolat, C. Ulusay, R., Lutfi Suzen, M (2012). Development of geotechnical micro zonation model for Yenisehir (Bursa, Turkey) located at a seismically active region. *Original. Engineering Geology*, Vol.127, 24,36-53.
- Masashi, M. and Saburoh. M (2003). GIS based integrated seismic hazard mapping for a large metropolitan area, *proceeding of earthquake engineering spin*, 302-225.