مجله علمی پژوهشی مخاطرات محیط طبیعی، دوره نهم، شماره بیست و ششم، زمستان ۱۳۹۹
تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۸/۰۸/۱۷
تاریخ بازنگری نهایی مقاله: ۱۳۹۸/۱۰/۲۰
تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۸/۱۱/۰۵
صفحات: ۷۶ - ۵۹

مقاله (علمی پژوهشی)

ارزیابی خطر زمین‌لرزه و پهنه‌بندی مخاطرات محیطی مرتبط با آن در محدوده بروجرد، استان لرستان

سیامک بهاروند*[۱]، وهاب امیری امرایی[۲]، سلمان سوری[۳]

۱*. استادیار، گروه زمین‌شناسی، واحد خرم‌آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، خرم‌آباد
۲. استادیار، پردیس علوم پایه، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه یزد، یزد
۳. کارشناس ارشد، باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، واحد خرم‌آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، خرم‌آباد

چکیده

فلات ایران یک ناحیه پهناور فشارشی در طول کمربند فعال کوهزایی آلپ-هیمالیا است که با تداوم حرکت صفحه‌ها در این ناحیه شاهد فعالیت‌های لرزه‌ای در اغلب نقاط ایران هستیم. در این پژوهش بررسی وضعیت لرزه‌زمین‌ساخت و تحلیل خطر زمین‌لرزه با بکارگیری روش تعینی و مطالعه گسل‌های فعال شهرستان بروجرد واقع در شمال استان لرستان مدنظر بوده است. هدف اصلی پژوهش مقابله با خطر زمین‌لرزه از طریق پی بردن به بیشینه بزرگی و بیشینه شتاب افقی زمین برای گسل‌های فعال منطقه و همچنین تحلیل و پهنه‌بندی مخاطرات محیطی مرتبط با این پدیده می‌باشد. بدین منظور ابتدا با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، نقشه زمین‌شناسی و مطالعات میدانی گسل‌های اصلی منطقه شناسایی و سپس با استفاده از روش قطعی زلزله طرح و با بهره‌گیری از روابط تجربی موجود بین مشخصه‌های زلزله، نسبت به تعیین زلزله با بیشترین احتمال اقدام شده است. بر اساس محاسبات انجام شده، بزرگی زلزله‌های ناشی از فعالیت گسل‌های اصلی محدوده اطراف شهر بروجرد، بین ۶/۱۷ تا ۷/۰۷ ریشتر و بزرگترین شتاب افقی (PGA) بر اساس رابطه دونوان و کمبل به ترتیب ۰/۳۰۸ و ۰/۳۲۱ گال می‌باشد. طبق بررسی‌های انجام شده دو پدیده روانگرایی و زمین‌لغزش مهم‌ترین مخاطرات محیطی پس از رخداد زمین‌لرزه در سطح شهرستان بروجرد می‌باشند. در این تحقیق پس از تحلیل مخاطرات روانگرایی و زمین‌لغزش، ابتدا با استفاده از راهنمای پهنه‌بندی خطرات ژئوتکنیک لرزه‌ای و روش منطق فازی؛ به پهنه‌بندی مخاطرات مذکور پرداخته شده است. سپس با تلفیق نقشه‌های خطر روانگرایی و زمین‌لغزش، نقشه مخاطرات محیطی در سطح شهرستان بروجرد تهیه گردیده است. بر اساس نتایج به دست آمده به ترتیب ۱۲/۹، ۲۵/۶، ۲۴/۸، ۱۷/۶ و ۱۹/۱ درصد از مساحت منطقه در کلاس‌های خطر خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد قرار دارد.

واژگان کلیدی: شهر بروجرد، زلزله، مخاطرات محیطی، روانگرایی، زمین‌لغزش.

*- سیامک بهاروند (نویسنده مسئول) Email: S.baharvand@khoiau.ac.ir

مقدمه

در سال‌های گذشته بلایای طبیعی متعددی در اغلب کشورهای جهان اتفاق افتاده و علاوه بر خسارت‌های اجتماعی و اقتصادی زیاد، اغلب موجب کشته شدن و آواره شدن هزاران نفر شده است (Johnson, 2007؛ عباسی و همکاران، ۱۳۹۶). فجایع و حوادث هنوز هم انسان را غافلگیر می‌کنند و بشر با وجود تمام تلاش‌های خود هنوز هم نتوانسته است کنترل سرنوشت خود را در دست گرفته و بر رویدادهای غیرمترقبه غلبه کند (فرجزاده و همکاران، ۱۳۹۰).

موقعیت کشور ما چه از نظر زمین‌لرزه و چه از نظر پدیده‌های ناشی از آن نگران کننده بوده، به طوری که جزء ۱۰ کشور بلاخیز جهان قرار گرفته است (قائدرحمتی و همکاران، ۱۳۹۳). 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. از این‌رو شناخت وضعیت تکتونیکی، نحوه‌ی رفتار و عملکرد گسل‌ها و همچنین وضعیت لرزه‌خیزی مناطق مختلف تاثیر زیادی در بکارگیری راهبردهای مناسب در جهت به حداقل رساندن خسارات ناشی از این حرکات خواهد داشت (پورخسروانی و موسوی، ۱۳۹۷).

با وجودی که شناسایی مخاطره زمین‌لرزه به نسبت خوب مورد توجه و مطالعه قرار گرفته، لیکن مطالعه مخاطرات ناشی از این رخداد کمتر مورد توجه بوده است (سکوند و همکاران، ۱۳۹۰). در زمینه بررسی زمین‌لرزه و مخاطرات ناشی از آن تاکنون مطالعاتی در ایران و سایر نقاط جهان صورت گرفته است که از جمله آن‌ها می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

قبادی و چرچی (۱۳۸۱) به ارزیابی مقدماتی خطر زلزله در شهر اهواز پرداختند. بر اساس نتایج به دست آمده حداکثر شتاب افقی ناشی از زمین‌لرزه‌های محتمل، ۰/۳۴ گال برآورد گردیده است؛ عبداله‌زاده و همکاران (۱۳۹۲) به ارزیابی خطر و خسارت ناشی از پدیده‌ی روانگرایی خاک در شهرستان گرگان پرداختند. بر اساس نتایج به دست آمده قسمت شمالی شهرستان به دلیل بالا بودن سطح آب زیرزمینی از پتانسیل خطر بیشتری برخوردار بوده است؛ حسین‌آبادی و همکاران (۱۳۹۸) با استفاده از منطق فازی به پهنه‌بندی خطر زمین‌لرزه و زمین‌لغزش در رشته کوه باقران پرداختند. نتایج به دست آمده از پهنه‌بندی صورت گرفته نشان داد که بیش از ۳۳ درصد از مساحت منطقه در کلاس‌های خطر زیاد و خیلی زیاد قرار دارد؛ بیکر و فابر[1] (۲۰۰۸) روشی برای کمی کردن پتانسیل گسترش روانگرایی با در نظر گرفتن تغییرات مکانی خصوصیات خاک و شتاب‌های لرزه‌ای آتی پیشنهاد کردند؛ لئوناردی[2] و همکاران (۲۰۱۶)، عابدینی و یعقوب‌نژاد[3] (۲۰۱۷) نشان دادند که روش فازی از دقت بالایی در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش برخوردار می‌باشد؛ جیاناراکی[4] و همکاران (۲۰۱۸) با استفاده از روش قطعی به بررسی خطر زمین‌لرزه در شهر ایجیون یونان پرداختند. بر اساس نتایج به دست آمده هماهنگی خوبی بین روش استفاده شده و زمین‌لرزه ۶/۴ ریشتری سال ۱۹۹۵ این منطقه وجود داشته است.

این مطالعه با هدف بررسی وضعیت لرزه زمین‌ساخت و همچنین تحلیل و پهنه‌بندی مخاطرات محیطی مرتبط با این پدیده در سطح شهرستان بروجرد انجام گرفته است. شهرستان بروجرد در مکانی قرار دارد (لبه‌ی شرقی زاگرس) که

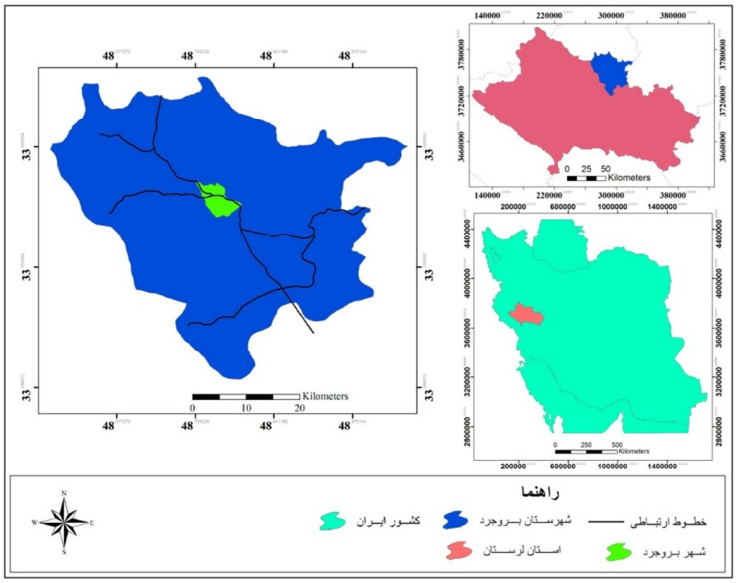
1 Baker and Faber
2 Leonardi
3 Abedini and Yaghoob Nejad
4 Giannaraki

تقریباً محل برخورد دو صفحه‌ی عربستان و ایران در پی‌سنگ آن واقع شده است و همین امر باعث شده تا گسل اصلی زاگرس و گسل‌های فراوانی در راستای رشته کوه زاگرس با روند شمال غربی – جنوب شرقی تشکیل شوند. بیشترین فشار وارده بر پهنه‌ی زاگرس لرستان در سرزمین شهرستان‌های درود تا بروجرد وارد می‌شود. این فشار که تدریجی و مستمر است علت اصلی تمام زلزله‌های زاگرس و به ویژه بروجرد است (حیدری و گودرزی، ۱۳۸۹). با توجه به لرزه‌خیز بودن شهرستان بروجرد، طی سال‌های اخیر وقوع دو پدیده روانگرایی و زمین‌لغزش پس از رخداد زمین‌لرزه در سطح شهرستان نمایان بوده است که در این تحقیق مورد مطالعه قرار گرفته‌اند.

داده‌ها و روش‌ها

الف- ویژگی‌های محدوده مورد مطالعه:

محدوده مورد مطالعه یکی از شهرستان‌های استان لرستان است که در غرب ایران واقع گردیده است. این شهرستان در منطقه کوهستانی زاگرس واقع شده و مرکز آن شهر بروجرد می‌باشد (شکل ۱). شهرستان بروجرد به شهرستان‌های ملایر و نهاوند در استان همدان (از شمال)، شهرستان شازند در استان مرکزی (از شرق)، شهرستان دورود (از جنوب) و شهرستان‌های خرم‌آباد و دلفان (از غرب) محدود می‌گردد.



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی شهرستان بروجرد

ب- ارزیابی خطر زمین‌لرزه:

تحلیل و بررسی میزان خطر لرزه‌ای ما را به شناخت توان لرزه‌زایی و میزان فعالیت هر گسل سوق می‌دهد و در واقع می‌توان مناطق خطرپذیر را در هر نقطه از محدوده مورد مطالعه مشخص نمود. در این پژوهش ارزیابی وقوع زمین‌لرزه

به روش تعیینی یا قطعی صورت گرفته است. بدین منظور ابتدا گسل‌های اصلی منطقه، به روش سایر مطالعات صورت گرفته در سطح استان لرستان (بهاروند و همکاران، ۱۳۹۶) با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، عکس‌های هوایی و نقشه‌ی زمین‌شناسی، استخراج و ثبت گردیده است. سپس با توجه به ویژگی‌های زمین‌شناسی و تکتونیکی محدوده مطالعه شده، از میان روابط موجود، سه رابطه انتخاب و توسط این روابط بیشینه بزرگی مورد انتظار برای هر گسل در صورتی که حداکثر نیمی از طول گسل دچار گسیختگی شود (دید محافظه کارانه) محاسبه و میانگین مقادیر محاسبه شده به دست آمده است. بدون تردید تمام طول گسل در ذخیره‌سازی انرژی زلزله نقش ندارد. یعنی هرچه طول گسل بیشتر شود با توجه به شرایط ژئومکانیکی زمین، طول گسیختگی ناشی از زلزله کمتر خواهد بود. بنابراین استفاده از نصف طول گسل در محاسبات دور از واقعیت نیست (قبادی و همکاران، ۱۳۸۶). در این تحقیق از سه رابطه امبرسیز و ملویل[1] ۱۹۸۲ (بر پایه زمین‌لرزه‌های خاورمیانه، رابطه ۱)؛ ولز و کاپراسمیت[2] ۱۹۹۴ (بر اساس اطلاعات مربوط به ۲۴۴ زمین‌لرزه در سراسر جهان، از جمله ۱۲ زمین‌لرزه از ایران، رابطه ۲) و اشجعی و نوروزی[3] ۱۹۷۸ (بر پایه زمین‌لرزه‌های ایران، رابطه ۳) جهت برآورد توان لرزه‌زایی گسل‌های منطقه استفاده شده است:

$$Ms = 1.429 \text{Log } LR + 4.629 \quad (۱)$$

$$Ms = 5 + 1.22 \text{ Log } L \quad (۲)$$

$$M = \text{Log } L + 5.4 \quad (۳)$$

که در آن‌ها LR و L درازای گسل فعال بر حسب کیلومتر و Ms بزرگی زمین‌لرزه بر حسب ریشتر می‌باشد.

سپس با استفاده از دو رابطه کاهندگی، بیشینه شتاب افقی زمین برای گستره طرح محاسبه شده و میانگین مقادیر بدست آمده به عنوان بیشینه شتاب افقی زمین در محدوده هر گسل منظور گردید که در اصلاح روش‌های ساخت و ساز و مقابله با مخاطرات زمین‌لرزه می‌توان از آن سود جست. برای تعیین شتاب زمین یا شتاب طرح در محل، مطالعات زیادی صورت گرفته است که در این تحقیق از روابط کمبل[4]، ۱۹۸۱ (رابطه ۴) و دونوان[5]، ۱۹۷۳ (رابطه ۵) استفاده شده است (بهاروند و همکاران، ۱۳۹۸).

$$a = 1320e^{0.58M}/(R + 25)^{1.32} \quad (۴)$$

$$a = 1080e^{0.5M}/(R + 25)^{1.32} \quad (۵)$$

در روابط بالا، (a) شتاب حداکثر زمین بر حسب سانتی متر بر مجذورثانیه، (R) فاصله محل مورد نظر از گسل یا کانون زلزله برحسب کیلومتر، (M) بزرگی زمین لرزه بر حسب ریشتر، (L) طول گسل برحسب کیلومتر می باشد. شتابی که به وسیله این روابط حاصل می شود شتاب افقی طرح نامیده می شود و بر حسب گال (g) بیان می‌گردد (بهاروند و همکاران، ۱۳۹۸).

ج- تهیه نقشه مخاطرات محیطی در محدوده بروجرد:

1 Ambraseys and Melville
2 Wells and Coppersmith
3 Ashjai and Nowroozi
4 Campbell
5 Donovan

پهنه‌بندی خطر روانگرایی: روش‌های ارزیابی خطر روانگرایی به دو دسته کمی و کیفی تقسیم می‌شوند. از مهمترین روش‌های کیفی می‌توان به روش سه فاکتوره SWM (جنس خاک و رسوب، نوسان آب زیرزمینی و شتاب زمین‌لرزه) اشاره کرد. در این تحقیق سعی شده است تا با نوآوری در روش ذکر شده و تلفیق آن با روش فازی، به روش SWM صورت‌بندی ریاضی بخشیده و زمینه را برای استدلال، کنترل و تصمیم‌گیری در شرایط عدم اطمینان فراهم کنیم. منطق فازی برخلاف روش SWM که با قطعیت وزن متغیرها را تعیین می‌کند، یک منطق چند مقداری است، یعنی تابعیت هر عضو از یک مجموعه مرجع نسبت به عضوی از یک زیرمجموعه معین را نمی‌توان به صورت قطعی تعیین نمود. این عدم قطعیت در مورد تعلق یک عضو به یک مجموعه مشخص را می‌توان توسط دو عدد ۰ و یا ۱ بیان نمود. چنانچه عضوی متعلق به مجموعه مورد نظر نباشد، عدد صفر و درصورتیکه متعلق به مجموعه مورد نظر باشد، عدد ۱ برای آن لحاظ می‌گردد. بنابراین، با استفاده از اعداد ۰ و ۱ می‌توان تعلق هر عضو از یک یا چند زیرمجموعه از مجموعه‌ای فازی را تعیین نمود (صفاری و همکاران، ۱۳۹۰؛ تقی‌زاده قلعه جوقی، ۱۳۹۰؛ شهسواری بازار جمعه، ۱۳۹۰؛ ابراهیمی، ۱۳۹۲؛ شریفی، ۱۳۹۲؛ جهانی، ۱۳۹۲؛ کرم و همکاران، ۱۳۹۳؛ ایلانلو، ۱۳۹۵).

در مطالعه انجام شده به منظور تهیه نقشه‌های عوامل موثر بر روانگرایی از تصاویر ماهواره‌ای، مطالعات میدانی (به منظور تهیه نقشه جنس خاک)، اطلاعات پیزومتری آب‌های منطقه (به منظور تهیه نقشه سطح آب زیرزمینی) و نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ شهرستان بروجرد و روابط تجربی (به منظور تهیه نقشه شتاب زمین‌لرزه) استفاده شده است.

پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در شهرستان بروجرد: عوامل مختلف در نظر گرفته شده به منظور پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با توجه به نکاتی از قبیل هدف، مقیاس کار و دقت قابل انتظار، شرایط منطقه، میزان تاثیرگذاری هر عامل و کافی و در دسترس بودن اطلاعات، تعیین می‌شود (عبدالحسینی رومشگان، ۱۳۹۱؛ کرمی، ۱۳۹۴). در این تحقیق به منظور تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش‌های ناشی از زمین‌لرزه در سطح شهرستان بروجرد از ۷ عامل شتاب افقی زمین‌لرزه، شیب، لیتولوژی، بارندگی، فاصله از گسل، شبکه آبراهه‌ها و جاده استفاده شده است. برای تهیه نقشه عوامل موثر بر لغزش از مدل رقومی ارتفاعی (به منظور تهیه نقشه‌های شیب دامنه و شبکه آبراهه)؛ نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ بروجرد، تصاویر ماهواره‌ای و مطالعات میدانی (به منظور تهیه نقشه‌های گسل، جاده و لیتولوژی منطقه)؛ آمار بارندگی سالیانه (به منظور تهیه نقشه بارش)؛ نقشه گسل‌ها و روابط تجربی (به منظور تهیه نقشه شتاب افقی زمین‌لرزه) در سطح شهرستان بروجرد استفاده شده است. در این مطالعه پس از تهیه نقشه عوامل مختلف از روش منطق فازی به منظور وزن‌دهی به عوامل و پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش استفاده شده است.

منطق فازی بر پایه فازی‌سازی لایه‌ها استوار است. لذا برای استفاده از فاکتورهای تاثیرگذار در پهنه‌بندی خطر روانگرایی و زمین لغزش در سیستم فازی بایستی خصوصیات آن ها تعیین گردد.

فازی‌سازی: عملیات فازی‌سازی، ورودی‌ها را گرفته و توسط توابع عضویت مربوطه، یک درجه مناسب به هر ورودی نسبت می‌دهد (Tanaka, 1966). تابع عضویت را می‌توان بصورت درجه تعلق عناصر مجموعه مرجع به زیر مجموعه‌های آن تعریف کرد و به شکل $\mu c(X)$ نمایش داده می‌شود. 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 (شریفی، ۱۳۹۲؛ بهاروند و همکاران، ۱۳۹۶). در این تحقیق با استفاده از توابع عضویت خطی و تعریف شده توسط کاربر[1] (شریفی، ۱۳۹۲) نقشه‌های هر یک از عوامل مؤثر بر روانگرایی و لغزش به نقشه‌های فازی تبدیل شده‌اند.

پس از تهیه نقشه مخاطرات روانگرایی و زمین‌لغزش، در نهایت برای تهیه نقشه مخاطرات زمین‌شناسی در محیط نرم‌افزار Arc GIS Desktop، از دستور Raster calculator استفاده کرده و با تلفیق نقشه مخاطرات روانگرایی و زمین لغزش، نقشه مخاطرات محیطی مرتبط با خطر زمین‌لرزه در سطح شهرستان بروجرد تهیه گردیده است.

یافته‌های تحقیق

الف- ارزیابی خطر زمین‌لرزه:

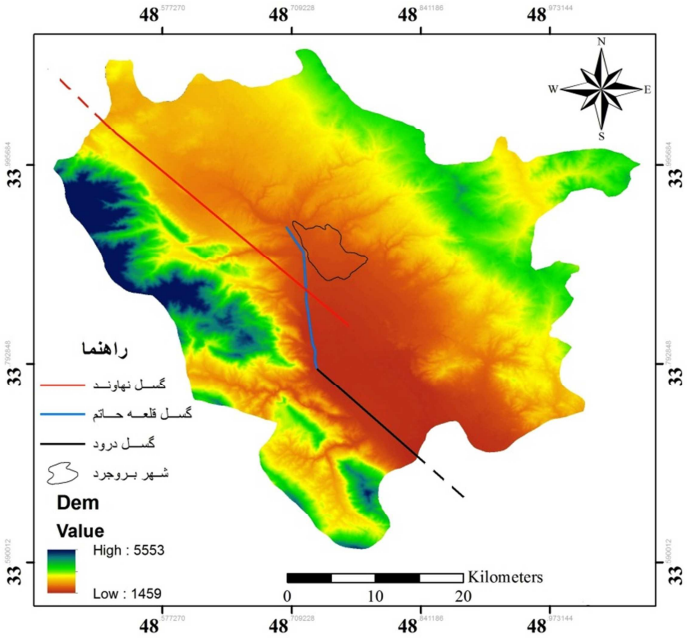
به منظور بررسی و مطالعه ایمنی لرزه‌ای هر ساختگاه ابتدا لازم است تا تمامی سرچشمه‌های لرزه‌ای که قادرند در منطقه جنبش نیرومند مخرب ایجاد نمایند، به خوبی شناسایی و بررسی گردند. در پژوهش حاضر چشمه‌های لرزه‌زا به صورت خطی در نظر گرفته شده و به این منظور گسل‌های اصلی فعال به عنوان چشمه‌های لرزه‌زا تعیین و بررسی شده‌اند. از آنجایی که منطقه مطالعه شده در مسیر زون گسلی جوان اصلی زاگرس قرار دارد گسل‌های بسیار زیادی با طول‌های متفاوت در آن قابل شناسایی می‌باشند لذا با توجه به هدف مطالعه از گسل‌های کوچک صرف نظرشده است. با مطالعه وضعیت کانونی زمین‌لرزه‌های سالیان اخیر، گسل‌های لرزه‌خیز فعال که عمدتاً مسبب زمین‌لرزه‌ها و مخاطرات محیطی هستند انتخاب شده و در تحلیل خطر زمین لرزه و محاسبه جنبش نیرومند زمین مد نظر قرار داده شده‌اند. در این مطالعه سه گسل درود، قلعه حاتم و نهاوند به عنوان سه گسل اصلی رخداد زمین‌لرزه‌های منطقه شناسایی شده که خصوصیات هر کدام به شرح زیر می‌باشد (شکل ۲):

گسل دورود: قطعه گسلی دورود با راستای حدود N45W و درازای بالغ بر ۱۰۰ کیلومتر، جنوبی‌ترین قطعه گسلی گسل اصلی جوان زاگرس محسوب می گردد (آقانباتی، ۱۳۸۵). گسل دورود در شمال غربی شهر دورود ، حد جنوبی دره سیلاخور را در نهشته‌های کواترنری پسین رودخانه آبیدز تشکیل می‌دهد. سازوکار گسل دورود راستالغز راستگرد همراه با یک مولفه قائم کوچک می‌باشد بطوری که بخش جنوب غربی آن نسبت به بخش شمال شرقی به سمت بالا حرکت کرده است. گسل دورود گسلی فعال و لرزه‌زا است.

گسل قلعه حاتم: گسل لرزه‌ای دورود در نزدیکی بروجرد به گسل تقریباً شمالی– جنوبی با سازوکار نرمال قلعه حاتم ختم می‌شود که گسل نهاوند را از گسل دورود جدا می‌کند. در اثر گسل‌خوردگی قلعه حاتم، بلوک شرقی آن به میزان ۱۰ متر دچار افتادگی شده است (حیدری و گودرزی، ۱۳۸۹) (شکل ۳). از نظر مفاهیم ریخت شناسی، دره سیلاخور در شمال غربی به گسل قلعه حاتم محدود می شود.

گسل کواترنری نهاوند: گسل نهاوند در یک روند نسبتاً مشابه با گسل دورود از غرب بروجرد تا شمال غربی نهاوند در یک امتداد N50W امتداد می‌یابد (شکل ۲). این گسل با شیب زیاد به سوی جنوب غرب، حرکت راستالغز راستگرد از خود نشان می دهد (آقانباتی، ۱۳۸۵).

1 User defined



شکل ۲: موقعیت گسل‌های اصلی شهرستان بروجرد



شکل ۳: رخنمون گسل قلعه حاتم در غرب شهر بروجرد

روابط تجربی مختلفی در مورد ارتباط طول گسل و بیشینه بزرگی مورد انتظار ارائه شده است. در پژوهش حاضر از روابط آمبرسیز و ملویل، ولز و کاپراسمیت و همچنین اشجعی و نوروزی به دلیل ارائه برای ایران و همخوانی نتایج حاصل از روابط با واقعیت تکتونیکی و زمین‌شناسی منطقه مطالعه شده، استفاده گردید و بیشینه بزرگی محتمل برای هر گسل توسط آن محاسبه شده است (جدول ۱).

جدول ۱: برآورد بیشینه بزرگی گسل‌های اصلی منطقه مطالعه شده

نام گسل	سازوکار	طول گسل (کیلومتر)	طول گسیختگی (کیلومتر)	آمبرسیز و ملویل	ولز و کاپراسمیت	اشجعی و نوروزی	میانگین
درود	راستالغز راستگرد	۱۰۰	۵۰	۷/۰۵۶	۷/۰۷۲	۷/۰۹۸	۷/۰۷
قلعه حاتم	نرمال	۱۸	۹	۵/۹۹۲	۶/۱۶۴	۶/۳۵۴	۶/۱۷
نهاوند	راستالغز راستگرد	۸۰	۴۰	۶/۹۱۸	۶/۹۵۴	۷/۰۰۲	۶/۶۵

سپس شتاب افقی ایجاد شده بر شهر بروجرد نیز بر اساس روابط تجربی کمبل و دونوان تعیین گردیده است (جدول ۲). بر اساس محاسبات انجام شده بزرگی زلزله‌های ناشی از فعالیت گسل‌های محدوده اطراف شهر بروجرد، بین ۶/۱۷ تا ۷/۰۷ ریشتر و بزرگترین شتاب افقی (PGA) بر اساس رابطه دونوان و کمبل به ترتیب ۰/۳۰۸ و ۰/۳۲۱ گال می‌باشد.

جدول ۲: برآورد بیشینه شتاب افقی گسل‌های اصلی منطقه مطالعه شده

نام گسل	سازوکار	بزرگی	فاصله تا مرکز شهر	رابطه کمبل	رابطه دونوان	میانگین
درود	راستالغز راستگرد	۷/۰۷	۱۲	۰/۳۲۱	۰/۳۰۸	۰/۳۱۵
قلعه حاتم	نرمال	۶/۱۷	۵	۰/۲۰۷	۰/۲۱۱	۰/۲۰۹
نهاوند	راستالغز راستگرد	۶/۶۵	۱۰	۰/۳۱۹	۰/۳۰۷	۰/۳۱۳

ب- پهنه‌بندی مخاطرات محیطی محدوده مطالعه شده:

بررسی آمار زمین‌لرزه‌های رخ داده در سطح شهرستان بروجرد از سال ۱۹۰۰ تا کنون نشان می‌دهد که مهمترین کانون زمین‌لرزه ثبت شده، در صبح روز یازدهم فروردین ۱۳۸۵ خورشیدی می‌باشد. این زمین لرزه به بزرگی ۶/۱ ریشتر، حد فاصل شهرستان‌های بروجرد و دورود (دشت سیلاخور) در استان لرستان را به لرزه درآورد (با طول جغرافیایی ۴۸/۹۱ و عرض جغرافیایی ۳۳/۶۵ درجه). وقوع این زمین‌لرزه در نزدیکی راستای گسل اصلی جوان زاگرس (قطعه گسل دورود) رخ داده است. بر اثر این زمین‌لرزه حدود ۷۰ نفر جان خود را از دست دادند، بیش از ۲۰۰۰ نفر زخمی و در مجموع به بیش از ۳۰۰ روستا آسیب جدی وارد شد (موسسه زلزله‌شناسی، ۱۳۸۶).

این زلزله با وقوع پدیده‌های ژئوتکنیکی از جمله روانگرایی و زمین‌لغزش همراه بوده است که در این تحقیق به بررسی این مخاطرات پرداخته شده است (شکل ۴ و ۵).



شکل ۴: پدیده روانگرایی (الف) غرب روستای عربان، (ب) شمال شرق روستای کارخانه سفید کن



شکل ۵: لغزش‌های تحریک شده در اثر زلزله (الف) جاده بروجرد به کولیدر، (ب) جاده بروجرد به خرم‌آباد

روانگرایی: یکی از خطرهای ژئوتکنیکی مهم، پدیده روانگرایی می‌باشد. روانگرایی پدیده‌ای است که در خاک‌های سست ماسه‌ای تا سیلتی در شرایط اشباع ایجاد می‌گردد. با اعمال بارهای لرزه‌ای ناشی از زلزله بر توده‌های اشباع مستعد روانگرایی، تمایل این خاک‌ها به کاهش حجم از یک سو و عدم امکان خروج سریع آب از آن‌ها از سوی دیگر منجر به افزایش فشار آب منفذی و به دنبال آن کاهش تنش موثر و مقاومت برشی خاک می‌شود. با ادامه این روند،

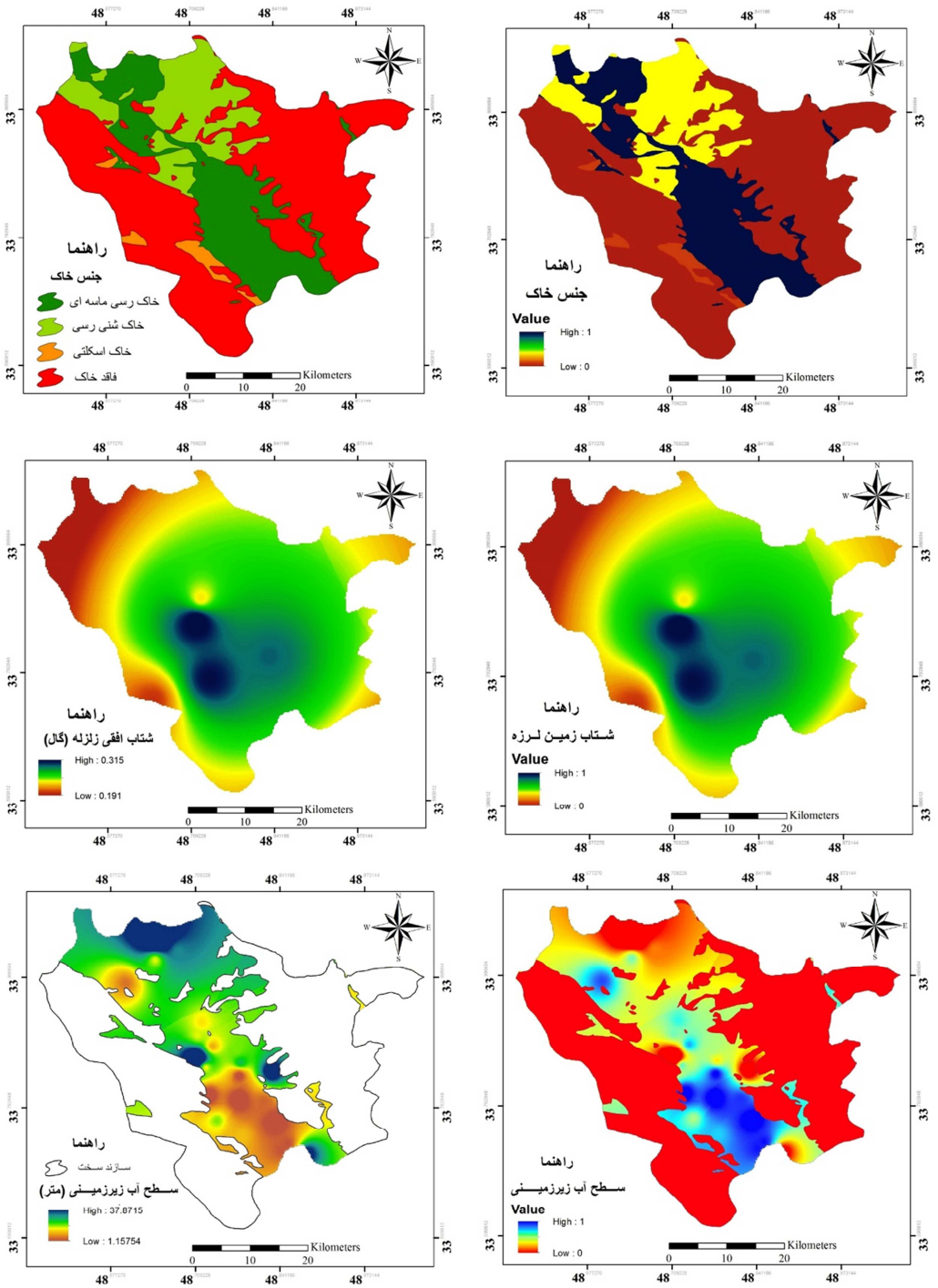
به تدریج خاک رفتاری سیال مانند پیدا کرده و در اصطلاح روانگونه می‌شود (عسکری و قاسمی، ۱۳۸۸؛ سکوند و همکاران، ۱۳۹۰؛ صادقی، ۱۳۹۴).

بروز این پدیده در زمین لرزه‌های گذشته باعث وارد آمدن آسیب‌های به نسبت زیادی به شریان‌های حیاتی و شالوده‌ی سازه‌ها بوده است. بنابراین برای مقابله با آثار مخرب آن، شناسایی مناطق مستعد روانگرایی بسیار ضروری است. این شناسایی می‌تواند به شکل پهنه‌بندی، که در آن پتانسیل خطر در مناطق مختلف تعیین می‌شود انجام گیرد (سکوند و همکاران، ۱۳۹۰). در این تحقیق به دلیل استفاده از روش تجربی SWM، عوامل مورد نیاز شامل عمق آب زیرزمینی، بافت رسوب و شتاب لرزه‌ای می‌باشد که جزییات استاندارد آن بر اساس روش مذکور در جدول ۳ ارائه شده است. بررسی عوامل سه‌گانه موثر بر پهنه‌بندی خطر روانگرایی نشان می‌دهد که با افزایش عمق آب زیرزمینی، افزایش اندازه رسوبات و کاهش شتاب لرزه‌ای، احتمال وقوع روانگرایی کاهش می‌یابد.

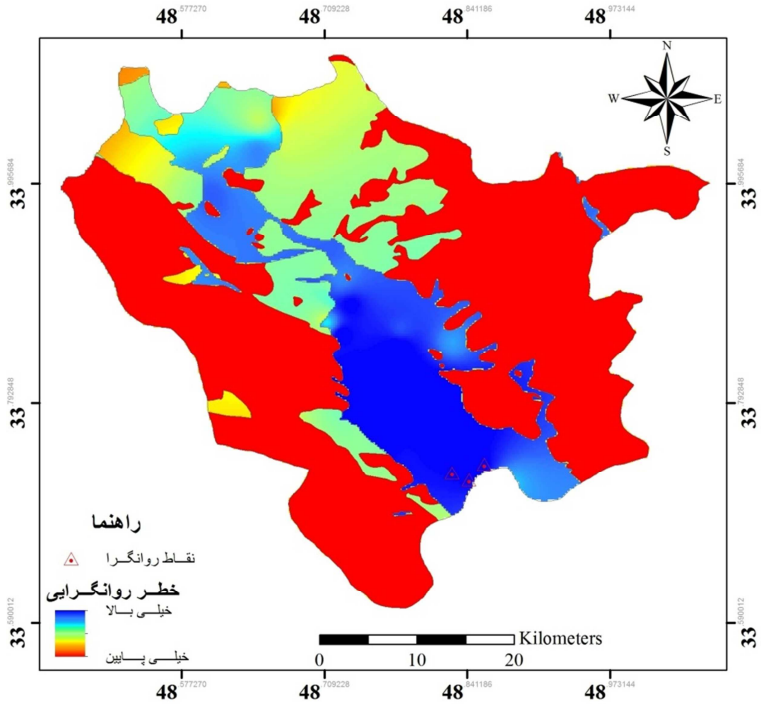
جدول ۳: حساسیت طبقات عوامل کلیدی خطر روانگرایی

رتبه عامل	بالا	متوسط	پایین
خاک (رسوب)	ماسه ریز و سیلت	رس	بسترهای سنگی و گراول
عمق سطح ایستابی	صفر تا ۳ متر	۳ تا ۷ متر	بزرگتر از ۷ متر
شتاب زمین‌لرزه	>۰/۶g	۰/۳-۰/۶g	۰/۳g<

پس از تهیه نقشه عوامل سه‌گانه موثر بر خطر روانگرایی با استفاده از توابع عضویت فازی خطی (برای نقشه سطح آب زیرزمینی و شتاب افقی زلزله) و فازی تعریف شده توسط کاربر (برای نقشه خاک)، وزن‌دهی به این عوامل صورت گرفته (شکل ۶) و با تلفیق نقشه‌های سه‌گانه، نقشه خطر روانگرایی در سطح شهرستان بروجرد تهیه شده است (شکل ۷). بررسی پارامترهای موثر در تعیین پتانسیل رخداد پدیده روانگرایی در سطح محدوده مطالعاتی نشان می‌دهد که به طور کلی، بخش‌های میانی این محدوده دارای پتانسیل بالاتری در مقایسه با بخش‌های حاشیه‌ای هستند. با توجه به دخیل بودن سه پارامتر فوق‌الذکر در تعیین نقشه خطرزایی پدیده روانگرایی، به نظر می‌رسد یکی از مهمترین و پرنقش‌ترین پارامترهای کنترل کننده این پدیده، توزیع جنس خاک در سطح منطقه است. همانطوریکه الگوی توزیع مناطق مستعد رونگرایی در شکل ۷ ارائه می‌دهد، این تغییرات دارای انطباق بسیار بالایی با لایه اطلاعاتی جنس خاک است. از این بین، خاک‌هایی با جنس رس ماسه‌ای دارای بیشترین پتانسیل و خاک‌های شنی رسی دارای رتبه بعدی از نظر میزان پتانسیل رونگرایی هستند. بنابراین، به نظر می‌رسد ذراتی با دانه‌بندی ریزتر (مانند رس ماسه ای) پتانسیل بالاتر را موجب خواهد شد. به تبع این تأثیرات، مناطق فاقد پوشش سست خاکی (مانند نوارهای سنگی امتداد یافته در راستای شمالغرب-جنوب شرق در بخش‌های شمالی و جنوبی محدوده) کمترین پتانسیل روانگرایی را نشان می‌دهند که این شرایط با توجه به توضیحات ارائه شده در بالا کاملاً قابل انتظار است.

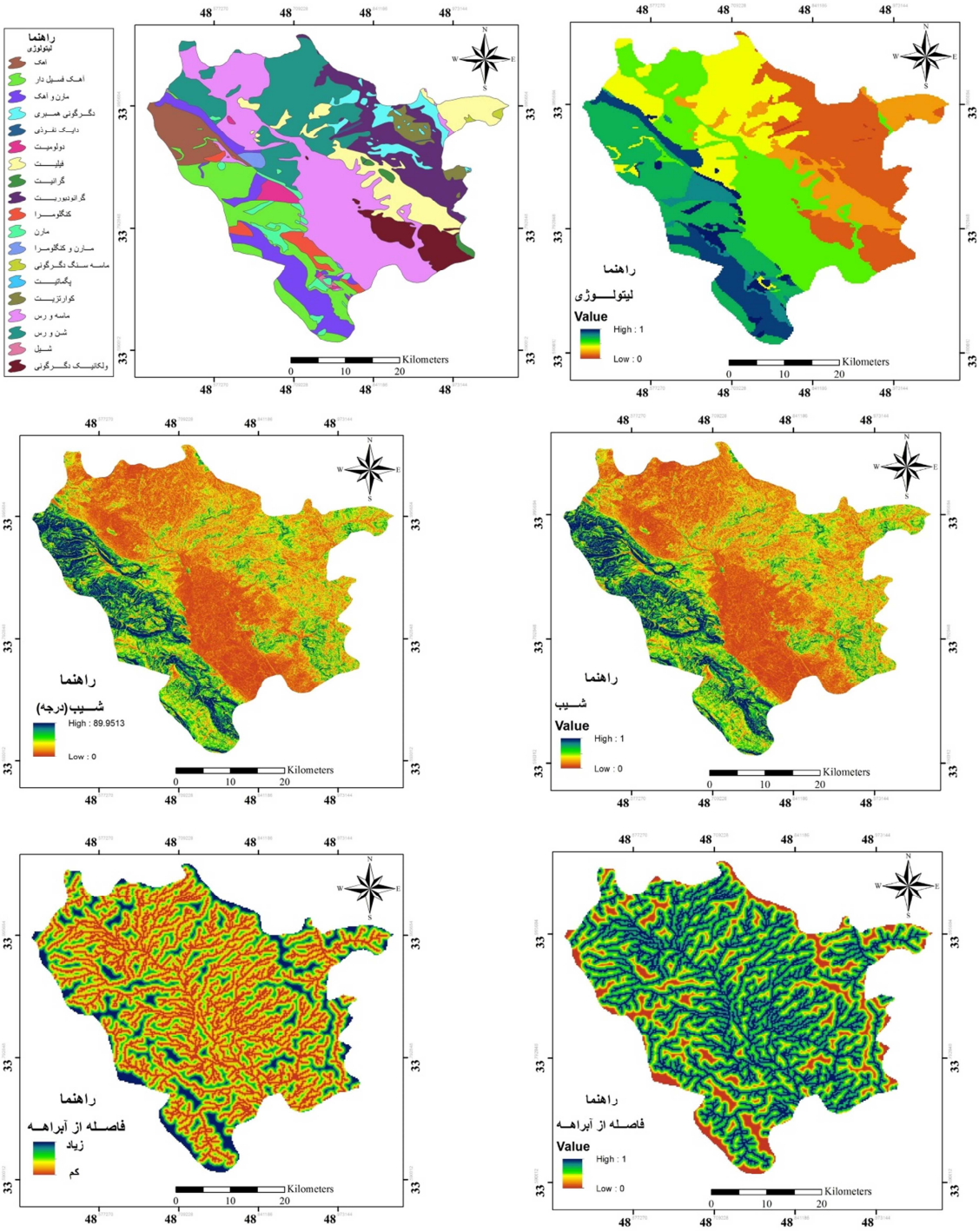


شکل ۶: نقشه عوامل موثر بر روانگرایی محدوده مطالعه شده (سمت چپ) و نقشه وزنی هر یک از عوامل (سمت راست)

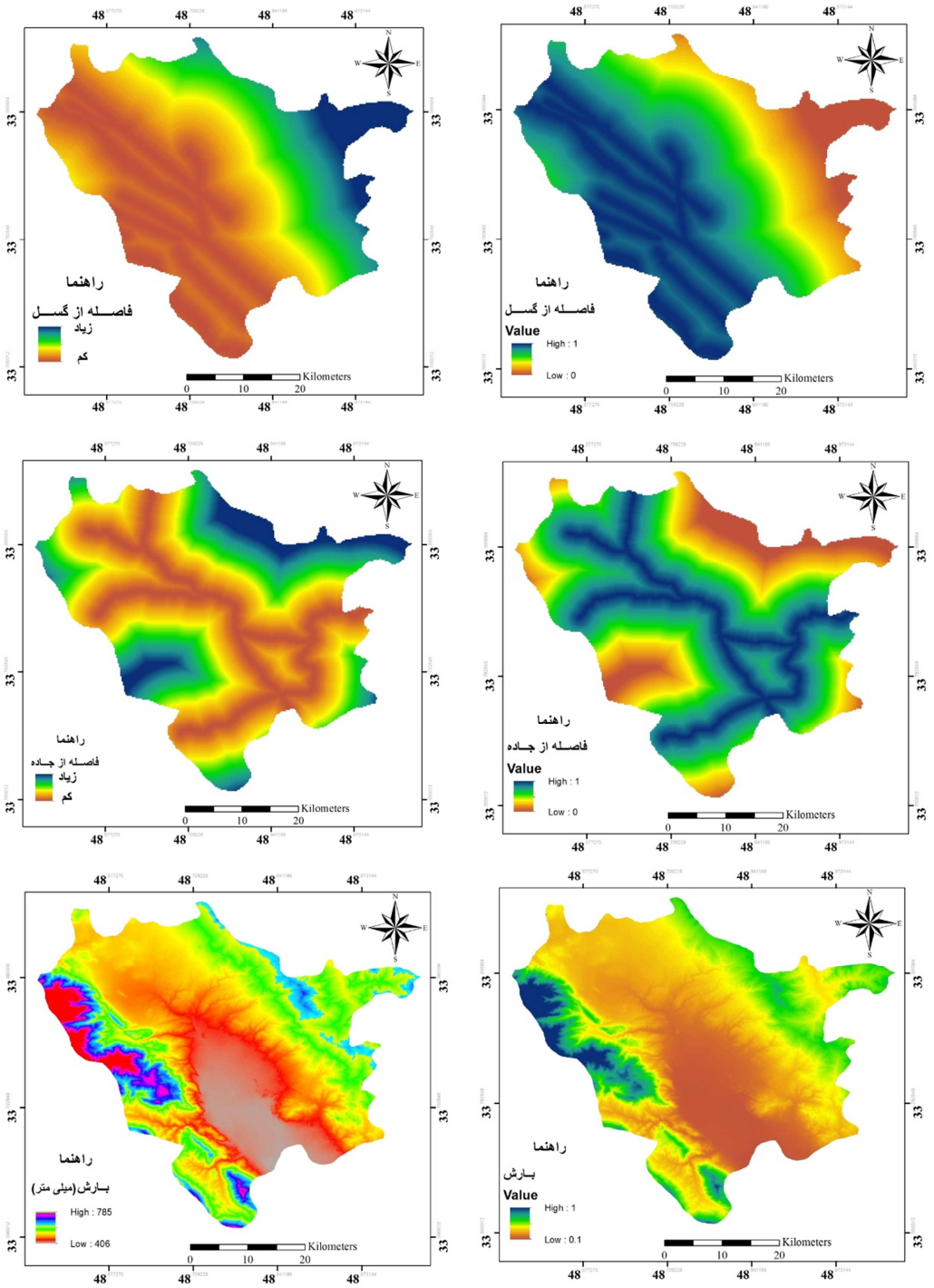


شکل ۷: نقشه خطر روانگرایی در شهرستان بروجرد

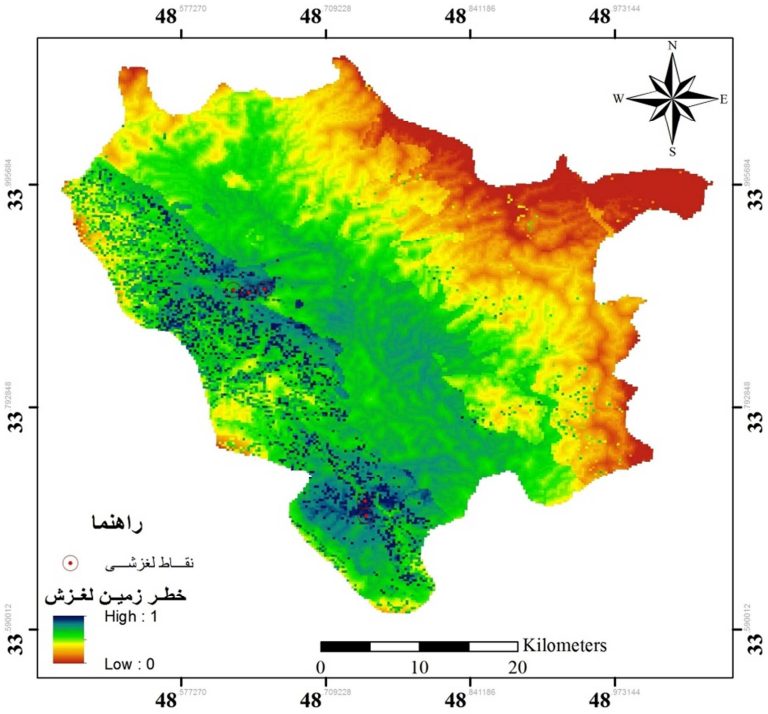
زمین‌لغزش: حرکات توده‌ای یا زمین‌لغزش، حرکت حجمی از توده‌های خاک، سنگ یا مجموع آنها، به طرف پایین شیب، تحت تأثیر نیروی ثقل می‌باشد (عبدالحسینی رومشگان، ۱۳۹۱). حرکت توده‌ای پدیده یا فرایندی مرکب و چند عامله است که وقوع آن از چند فرآیند متفاوت حاصل می‌شود. در این تحقیق برای پهنه بندی خطر زمین‌لغزش‌های منطقه پارامترهای لیتولوژی، شیب، بارش، شتاب افقی زمین‌لرزه و فاصله از عوامل گسل، آبراهه و جاده مورد بررسی قرار گرفته است. پس از تهیه نقشه عوامل موثر بر خطر زمین‌لغزش، با استفاده از توابع عضویت فازی خطی (برای نقشه‌های بارش، شتاب افقی زمین‌لرزه، فاصله از گسل، آبراهه و جاده) و فازی تعریف شده توسط کاربر (برای لیتولوژی و شیب) وزن‌دهی به این عوامل صورت گرفته (شکل ۶ و ۸) و با تلفیق نقشه‌های این عوامل، نقشه خطر زمین‌لغزش در سطح شهرستان بروجرد تهیه شده است (شکل ۹). بر اساس نتایج به دست آمده بخش‌های غرب و جنوب غرب این محدوده دارای استعداد لغزشی بالایی هستند.



شکل ۸: نقشه عوامل موثر بر زمین‌لغزش محدوده مطالعه شده (سمت چپ) و نقشه وزنی هر یک از عوامل (سمت راست)


راهنما
فاصله از گسل
زیاد
کم
Kilometers
0 10 20
راهنما
فاصله از گسل
Value
High : 1
Low : 0
Kilometers
0 10 20
راهنما
فاصله از جاده
زیاد
کم
Kilometers
0 10 20
راهنما
فاصله از جاده
Value
High : 1
Low : 0
Kilometers
0 10 20
راهنما
بارش(میلی متر)
High : 785
Low : 406
Kilometers
0 10 20
راهنما
بارش
Value
High : 1
Low : 0.1
Kilometers
0 10 20

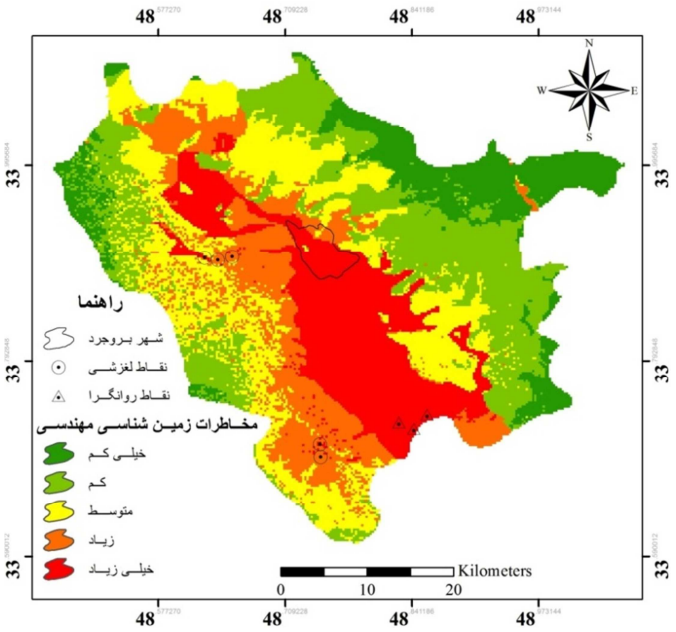
شکل ۸: ادامه



شکل ۹: نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در شهرستان بروجرد

بررسی پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش‌های محتمل در سطح محدوده مطالعاتی که برگرفته از نقش عوامل چندگانه است نشان می‌دهد که توزیع مناطق پرخطر دارای تأثیرپذیری بالایی از توزیع دو ویژگی محیطی بسیار مهم شامل ترکیب لیتولوژیکی منطقه و شیب توپوگرافی است. به عبارتی دیگر، انطباق بالای این لایه‌های اطلاعاتی با نقشه نهایی پتانسیل بروز زمین لغزش، به روشنی بیانگر اهمیت بالاتر این پارامترها در مقایسه با سایر عوامل مورد بررسی است. در این مورد نیز باید خاطر نشان کرد که با توجه به ماهیت پدیده لغزش که همان حرکت توده‌ای بعضاً عظیم در دامنه‌های پرشیب است، سستی تشکیلات زمین‌شناسی و قرارگیری آنها در محیطی با شیب نسبتاً بالا می‌تواند آغازگر و شاید تعیین‌کننده‌ترین عوامل دخیل در رخداد این پدیده قلمداد شوند. بنابراین، انطباق نقشه نهایی تهیه شده (شکل۹) با توزیع این پارامترها در سطح منطقه منطقی و مطابق انتظار است.

در نهایت با تلفیق نقشه‌های خطر زمین‌لغزش و روانگرایی، نقشه مخاطرات محیطی در محیط نرم‌افزار سیستم اطلاعات جغرافیایی تهیه شده است. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که ۱۲/۹ درصد از مساحت منطقه در پهنه خطر خیلی کم، ۲۵/۶ درصد در پهنه خطر کم، ۲۴/۸ درصد در پهنه خطر متوسط، ۱۷/۶ درصد در پهنه خطر زیاد و ۱۹/۱ درصد از مساحت منطقه در پهنه خطر خیلی زیاد قرار دارد که بیشترین خطر مربوط به دشت سیلاخور در جنوب شهرستان و نیمه جنوبی دشت اشترینان می‌باشد. نتایج حاصل از مطالعات میدانی و تلفیق نقشه مخاطرات محیطی با نقاط لغزشی و روانگرا شده حاصل از خطر زمین‌لرزه نشان می‌دهد که نقشه مذکور از دقت بالایی برخوردار است (شکل ۱۰).



شکل ۱۰: نقشه پهنه‌بندی مخاطرات محیطی مرتبط با خطر زمین‌لرزه در شهرستان بروجرد

نتیجه‌گیری

نتایج به دست آمده از ارزیابی خطر نسبی زمین‌لرزه در شهرستان بروجرد نشان می‌دهد که سه گسل درود، نهاوند و قلعه حاتم مهمترین گسل‌های تاثیر گذار بر لرزه‌خیزی شهرستان بروجرد می‌باشند که بر اساس روابط تجربی کمبل و دونوان به ترتیب دارای میانگین شتاب افقی ۰/۳۱۵، ۰/۳۱۳ و ۰/۲۰۹ گال می‌باشند.

بر اساس مطالعه انجام گرفته دشت‌های شهرستان بروجرد بسته به نوع و بافت نهشته‌ها و سطح آب زیرزمینی دارای پتانسیل خطر کم تا زیاد روانگرایی هستند که در این ارتباط دشت سیلاخور از پتانسیل خطر بالاتری برخوردار است. سطح آب زیرزمینی و شتاب افقی زمین‌لرزه بالا، شرایط زمین‌ریخت‌شناسی و نوع نهشته‌های دشت سیلاخور، استعداد قابل ملاحظه این بخش را برای وقوع روانگرایی به هنگام زمین‌لرزه نشان می‌دهد. مطالعات میدانی و بررسی نقشه زمین‌شناسی این منطقه نشان می‌دهد که نهشته‌های سطحی از رسوبات رسی تشکیل شده است، اما در عمق ۵ تا ۱۰ متری لایه‌های ماسه‌ای وجود دارد. ضخامت زیاد نهشته‌ها به همراه تراکم کم آن‌ها، دلایل دیگری هستند که می‌توانند در صورت بالا بودن سطح آب زیرزمینی، پتانسیل روانگرایی را در این دشت از شهرستان بروجرد را بالا ببرند. در سایر بخش‌های شهرستان به علت وجود ساختارهای سنگی و ارتفاعات، پتانسیل خطر وقوع روانگرایی وجود ندارد.

بر اساس نتایج به دست آمده، خطر زمین‌لغزش در شهرستان بروجرد به ترتیب از سمت نیمه غربی به سمت نیمه شرقی کاهش می‌یابد که علت آن را می‌توان به لیتولوژی حساس سازندهای رسوبی (مارن و آهک) و همچنین شیب توپوگرافی زیاد در نیمه غربی دانست. در نیمه شرقی با توجه به جنس لیتولوژی که بیشتر از نوع آذرین و دگرگونی هستند این حساسیت کمتر شده است.

طبق بررسی نقشه مخاطرات محیطی منطقه، ۳۶/۷ درصد از مساحت محدوده مطالعه شده در پهنه‌های خطر بالا قرار دارد که بیشتر متمرکز بر دشت سیلاخور و قسمت جنوبی دشت اشترینان می‌باشد. همچنین بر اساس نتایج به دست آمده محدوده شهر بروجرد در کلاس خطر زیاد و خیلی زیاد قرار دارد. لذا با توجه به تهدید این مخاطرات برای زیرساخت‌ها و کاربری‌های مختلف، پیشنهاد می‌شود که هر گونه ساخت و ساز و احداث طرح‌های عمرانی با بررسی‌های لازم صورت گیرد.

منابع

آقانباتی، سیدعلی (۱۳۸۵). زمین‌شناسی ایران، انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، چاپ دوم، ۵۸۶ ص.

پورخسروانی، محسن، موسوی، الهام (۱۳۹۷). تحلیل لرزه‌خیزی بخش آبپخش با استفاده از مدل‌های تحلیل سلسله مراتبی، نشریه جغرافیا و توسعه، سال شانزدهم، شماره ۵۳، صص ۱۴۰-۱۲۵.

ابراهیمی، لیلا (۱۳۹۲). ارزیابی مخاطرات ژئومورفیکی جاده چالوس از کندوان تا چالوس، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی.

ایلانلو، مریم (۱۳۹۵). کاربرد عوامل ژئومورفیک در مکان‌یابی دفن زباله‌های شهری (منطقه مورد مطالعه شهر ماهشهر)، نشریه جغرافیایی سرزمین، سال سیزدهم، شماره ۴۹، صص ۴۵-۲۹.

جهانی، علی (۱۳۹۲). تحلیل و شناسایی مخاطرات زیست محیطی با روش همپوشانی (Index Overlay) در سطح شهرداری منطقه ۲۱ تهران با استفاده از سیستم اطلاعات مکانی (GIS)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی.

بهاروند، سیامک؛ سوری، سلمان؛ رهنماراد، جعفر (۱۳۹۶). پهنه‌بندی مخاطرات زیست‌محیطی زمین‌لغزش، زمین‌لرزه، سیل و فرسایش با استفاده از روش سلسله مراتبی فازی (مطالعه موردی: حوضه وارک)، سال هشتم، شماره ۲۸، ۱۰۳-۸۹.

بهاروند، سیامک؛ رهنماراد، جعفر؛ سوری، سلمان (۱۳۹۸). ارزیابی و تهیه نقشه زون‌های لرزه‌ای شهر خرم‌آباد با استفاده از روش سلسله مراتبی فازی، نشریه جغرافیا و برنامه ریزی محیطی، سال سی‌ام، شماره ۷۴، صص ۹۰-۷۵.

تقی‌زاده قلعه جوقی، سیامک (۱۳۹۰). بررسی تغییرات کاربری اراضی ناحیه نقده با استفاده از تکنیک‌های سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی.

حسین‌آبادی، مهدی؛ موسوی، سیدمرتضی؛ ناظمی، محمد (۱۳۹۸). پهنه‌بندی خطر زمین‌لرزه و زمین‌لغزش به روش منطق فازی در رشته کوه باقران (جنوب بیرجند)، نشریه جغرافیا و توسعه، سال هفدهم، شماره ۵۵، صص ۱۷۴-۱۵۳.

حیدری، مجتبی؛ گودرزی، ذبیح‌اله (۱۳۸۹). ارزیابی خطر زمین‌لرزه در شهرستان بروجرد به روش قطعی، پنجمین همایش ملی زمین‌شناسی و محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی، اسلامشهر، صص ۱۳۶-۱۳۰.

سکوند، حبیب؛ شایان، سیاوش؛ شریفی‌کیا، محمد (۱۳۹۰). پهنه‌بندی خطر روانگرایی در دشت سیلاخور، نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، سال هجدهم، شماره ۲۱، صص ۶۸-۵۱.

شریفی، مهدی (۱۳۹۲). ارزیابی و مدیریت ریسک‌های محیط زیست منطقه حفاظت شده البرز مرکزی با استفاده از GIS، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی.

شهسواری بازار جمعه، فرشاد (۱۳۹۰). تحلیل و برآورد میزان ریسک مخاطرات زیست‌محیطی در سطح شهرداری منطقه ۹ تهران با سیستم اطلاعات مکانی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی.

صادقی، مینا (۱۳۹۴). برنامه‌ریزی برای کاهش خسارات ناشی از زلزله در نواحی با خطرپذیری بالا، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی.

صفاری، امیر؛ موسی‌وند، جعفر؛ افتخاری، مروت (۱۳۹۰). تحلیل توسعه کاربری‌های شهری در مناطق لغزشی با استفاده از تلفیق مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره (مطالعه موردی: حوضه رود-دره فرحزاد)، نشریه تحقیقات کاربردی جغرافیایی، سال نوزدهم، شماره ۲۲، صص ۱۰۷-۸۵.

فرجزاده، منوچهر؛ ثروتی، محمدرضا، طاهری، واله (۱۳۹۰). تحلیل و پهنه‌بندی مخاطرات ژئومورفولوژیک استان گلستان، فصل‌نامه جغرافیای طبیعی، سال چهارم، شماره ۱۱، صص ۶۲-۴۵.

قائدرحمتی، صفر؛ گندمکار، امیر؛ خوشکلام‌پور، امیر (۱۳۹۳). ارزیابی متغیرهای تاثیرگذار بر آسیب‌پذیری مساکن شهری در برابر زلزله (مطالعه موردی: شهر بروجرد)، نشریه آمایش محیط، سال هفتم، شماره ۲۴، صص ۱۰۴-۸۳.

قبادی، محمدحسین؛ چرچی، عباس (۱۳۸۱). ارزیابی مقدماتی خطر زمین لرزه در شهر اهواز، مجله علوم دانشگاه شهید چمران اهواز، سال نهم، شماره ۱، صص ۶۷-۵۱.

قبادی، محمدحسین؛ چرچی، عباس؛ صفری، حجت (۱۳۸۶). ارزیابی مقدماتی خطر زمین لرزه و نشت گاز در شهرستان مسجد سلیمان، مجله علوم دانشگاه شهید چمران اهواز، شماره ۱۷، صص ۵۸-۴۵.

عباسی، حامد؛ شرفی، سیامک؛ مریانجی، زهره (۱۳۹۶). تحلیل فضایی مخاطرات ژئومورفیک تهدید کننده مجتمع‌های زیستی شهری در استان لرستان، نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، شال چهارم، شماره ۲، صص ۱۲۵-۱۰۷.

عبدالحسینی رومشگان، میثم (۱۳۹۱). پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) مطالعه موردی: حوضه کاکاشرف واقع در جنوب شرق خرم‌آباد، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی.

عبداله‌زاده، علی؛ اونق، مجید؛ مصطفی‌زاده، رئوف (۱۳۹۲). ارزیابی خطر و خسارت ناشی از پدیده‌ی روانگرایی خاک مطالعه موردی: شهرستان گرگان در استان گلستان، فصلنامه مدیریت بحران، سال دوم، شماره ۲، صص ۳۲-۲۵.

عسکری، فرجاله؛ قاسمی، امیر (۱۳۸۸). پهنه‌بندی خطر روانگرایی استان لرستان، نشریه مهندسی عمران و نقشه‌برداری، سال چهل و سوم، شماره ۱، صص ۱۰۳-۹۵.

کرم، امیر؛ قنواتی، عزت‌اله؛ درخشان بابایی، فرزانه (۱۳۹۳). مکان‌یابی نواحی مناسب برای احداث تالاب‌های مصنوعی شهری با استفاده از تلفیق دو روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و منطق فازی (مطالعه موردی: شمال غرب کلانشهر تهران)، نشریه جغرافیا و پایداری محیط، سال چهارم، شماره ۱۱، صص ۴۰-۱۹.

کرمی، سلمان (۱۳۹۴). بررسی تاثیر زمین‌لغزش به عنوان یکی از موانع طبیعی توسعه روستایی در بخش مرکزی شهرستان خرم‌آباد (مطالعه موردی: دهستان‌های گرماوله، زردآب و ده‌سفید)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی.

موسسه زلزله شناسی، پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله، (۱۳۸۶). گزارش فوری زمین لرزه ۱۱ فروردین سال ۱۳۸۵(سیلاخور)، ۸۷ ص.

Abedini, M., Yaghoob Nejad, N., (2017), Risk zonation of the landslides in Tehran province using Fuzzy Model. Quarterly Journal of Crisis Management, 11: pp.145-155.

Ambraseys, N.N., Melville, C.P., (1982), A history of Persian earthquakes. Cambridge earth science series, 219 p.

Ashjai, A., Nowroozi, A.A., (1978), Observed and probable intensity zoning of Iran. Tectonophysics, 49: pp.149-160.

Baker, J.W., Faber, M.H., (2008), Liquefaction Risk Assessment Using Geostatistics to account for Soil Spatial Variability. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE, 134(1): pp.14-23.

Campbell, K.W., (1981), Near-Source Attention of Peak Horizontal Acceleration. Bulletin. Seismological Society of American, 71(6): pp. 2039-2070.

Donovan, N., (1973), Earthquake hazards for buildings. Building practices for disaster mitigation. building science series 46, Nat. Bur of, standards, U. S. Dept. of Commerce, Washington D. C., pp.82-111.

Giannaraki, G., Kassaras, I., Roumelioti, Z., Kazantzidou, D., Ganas A., (2018), Deterministic seismic risk assessment in the city of Aigion (W. Corinth Gulf, Greece) and juxtaposition with real damage due to the 1995 Mw6.4 earthquake. Bull Earthquake Eng., pp.1-32.

Johnson, C., (2007), Impacts of prefabricated temporary housing after the disaster: 1999 earthquakes in Turkey. Habitat International Journal of Disaster Risk Science, 31(1): pp. 36-52.

Leonardi, G., Palamara, R., Cirianni, F., (2016), Landslide Susceptibility Mapping Using a Fuzzy Approach. Procedia Engineering, 161: pp.380-387.

Tanaka, K., (1966), An Introduction to Fuzzy Logic for Practical Applications. Springer New York, 148p.

Wells, D.L., Coppersmith, K.J., (1994), New empirical relationships among magnitude, rupture length, rupture width, rupture area, and surface displacement. Bull. Seism. Soc. Am., 84(4): pp. 974-1002.

Research Article

Assessment of the earthquake hazard and zoning of associated environmental hazards in the Borujerd area, Lorestan province

Siamak Baharvand[1*], Vahab Amiri Amraei[2], Salman Soori[3]

1*. Assistant Professor, Department of Geology, Khorramabad Branch, Islamic Azad University, Khorramabad, Iran
2. Assistant Professor, Faculty of Science, Department of Geology, Yazd University, Yazd, Iran
3. MSc, Young Researchers and Elite Club, Khorramabad Branch, Islamic Azad University, Khorramabad, Iran

Received: 08-11-2019 Final Revised: 10-01-2020 Accepted: 25-01-2020

Abstract

The Iranian plateau is a vast area of pressure throughout the alpine-Himalayan orogenic belt, that with the continuous movement of the plates in this area, we encounter seismic activity in most parts of Iran. In this research, investigation of the tectonic earthquake and earthquake hazard analysis has been considered using a deterministic method and study of the active fault lines in Boroujerd city in the north of Lorestan province. The main objective of the study is to confront the risk of earthquakes by identifying the maximum magnitude and maximum horizontal acceleration of the earth for the active fault lines of the area and also analyzing and zoning the environmental hazards associated with this phenomenon. For this purpose, the main faults lines of the area were identified by using the satellite imagery, the geological map, and field studies, and then, the earthquake with the most probability was determined by using the definitive method of the earthquake plan and using the existing empirical relationships among the earthquake characteristics. Based on the calculations, the magnitude of the earthquakes caused by the main faults in this area ranged between 6.17 to 7.07 Gal, and the peak ground acceleration (PGA) based on the Donovan and Campbell methods were 0.308 and 0.321 Gal. Studies showed that the two phenomena of liquefaction and landslide are the most important environmental hazards after the earthquake occurrence in the Boroujerd area. In this research, liquefaction hazard zoning and landslide hazard maps are provided based on seismic-geotechnical hazard zoning guidelines and fuzzy logic methods. Then, by integrating liquefaction and landslide hazard maps, the map of environmental hazards has been prepared. Based on the results, 12.9, 25.6, 24.8, 17.6, and 19.1 percent of the area are in very low, moderate, high, and very high-risk classes, respectively.

Keywords: Borujerd city, earthquake, environmental hazards, liquefaction, landslide.

[*] Corresponding Author Email: S.baharvand@khoiau.ac.ir

References

References (in Persian)

Abdolhosseini Romeshghan, M., (2012), Landslide hazard zoning using the analytic hierarchy process (AHP) (Case study: Kakasharf Basin, southeast of Khorramabad). MSc. Thesis, Islamic Azad University. [In Persian]

Abbasi, H., Sharafi, S., Maryanji, Z., (2017), Geomorphological hazards threatening the spatial analysis of urban living complex in Lorestan province, Journal of Spatial Analysis, 4(2): pp.107-125. [In Persian]

Abdolahzadeh, A., Ownegh, M., Mostafazadeh, R., (2013), Hazard and risk analysis of soil liquefaction, Journal of Emergency Management, 2(2): pp.25-32. [In Persian]

Aghanabati, S.A., (2006), Geology of Iran, Geological Survey and Mineral Exploration of Iran, 586 p. [In Persian]

Askari, F., Ghasemi, A., (2010), Liquefaction zonation of lorestan province, Journal of Civil and Surveying Engineering, 43(1): pp.95-103. [In Persian]

Baharvand, S., Soori S., Rahnama Rad, J., (2017), Environmental hazards zonation landslide, earthquake, flood and erosion using AHP fuzzy method (case study: Vark basin). Journal of Applied RS and GIS Techniques in Natural Resource Science, 8(28): pp. 89-103. [In Persian]

Baharvand, S., Rahnama Rad, J., Soori, S., (2019), Evaluation and Preparation of Seismic Zone Maps of Khorramabad City using a Hierarchical-Fuzzy Method, Geography and Environmental Planning, 30(74): pp. 75-90. [In Persian]

Ebrahimi, L., (2013), Geomorphological hazards assessment of Chalus Road from Kandovan to Chalus. MSc. Thesis, Islamic Azad University. [In Persian]

Farajzadeh, M., Servati, M.R., Taheri, V., (2011), Analysis and zonation of geomorphologic hazards of Golestan province, Journal of Physical Geography, 4(11): pp.45-62. [In Persian]

Ghaedrahmati, S., Gandomkar, A., Khoshkalampour, A., (2014), Evaluation of effective variations on urban housings vulnerability against earthquake (case study: Borojerd City), Journal Management System, 7(24): pp.83-104. [In Persian]

Ghobadi, M.H., Churchi, A., (2002), Preliminary Assessment of Earthquake Risk in Ahvaz City, Journal of Science, 9(1): pp.51-67. [In Persian]

Ghobadi, M.H., Cherchi, A., Safari, H., (2007), Preliminary Assessment of Earthquake Risk and Gas Leakage in Masjed Soleiman City, Journal of Science, 17: pp.45-58. [In Persian]

Heydari, M., Goodarzi, Z., (2010), Earthquake risk assessment in Boroujerd city using a deterministic approach, 5th Conference of Applied Geology and the Environment, Islamic Azad University, Eslamshahr, pp.130-136. [In Persian]

Hoseinabadi, M., Mousavi, S.M., Namazi, M., (2019), Earthquake and landslide hazard zonation using fuzzy logic in Bagheran mountain (south of Birjand), Geography and Development Iranian Journal, 17(55): pp.153-174. [In Persian]

Ilanlou, M., (2016). The application of geomorphic agents in locating urban waste (Case Study: Mahshahr). Journal of Territory, 13(49): pp. 29-46. [In Persian]

Institute of Seismology, International Institute of Seismology and Earthquake Engineering, (2007), Immediate Report of Earthquake March 11, 2006 (Silakhor),87 p. [In Persian]

Jahani, A., (2013), Analysis and identification of environmental hazards using the index overlay method in the municipality of Tehran (district 21) using spatial information system (GIS). MSc. Thesis, Islamic Azad University. [In Persian]

Karam, A., Ghanavati, E., Derakhshan Babaei, F., (2014), Positioning the Appropriate Areas to Build the Artificial Urban Ponds Using the Combining Method of Analytical Hierarchical Process (AHP) and Fuzzy Logic (Case Study of the North West of Tehran Metropolis). Geography and sustainability of environmental, 4(11): pp. 19-40. [In Persian]

Karami, S., (2014), Effect of the landslide as one of the natural obstacles to rural development in the central part of Khorramabad city (case studies: The villages of Garmaveleh, Zardab, and Dehsefid). MSc. Thesis, Islamic Azad University. [In Persian]

Pourkhosravani, M., Mosavi, E., (2018), Seismic analysis in the Abpakhsh region by using Analytical Hierarchy Models, Geography and Development Iranian Journal, 16(53): pp.125-140. [In Persian]

Sadeghi, M., (2016), Planning for earthquake damage mitigation in high-risk areas. MSc. Thesis, Islamic Azad University. [In Persian]

Saffari, A., Mosivand, J., Eftekhari, M., (2011), analysis of development urban land use in landslide zones using incorporation multi-criteria decision models. case study: Farahzad river basin. Journal of Geographical Sciences, 19(22), pp. 85-107. [In Persian]

Sakvand, H., Shayan, S., Sarifikia, M., (2011), Liquefaction risk zoning in Silakhor plain. Journal of Geographical Sciences, 18(21): pp. 51-68. [In Persian]

Shahsavari Bazad Jomeh, F., (2011), Environmental risk assessment in the municipality of Tehran (district 9) using spatial information system. MSc. Thesis, Islamic Azad University. [In Persian]

Sharifi, M., (2013), Environmental risk assessment and management in the central Alborz protected area using GIS. MSc. Thesis, Islamic Azad University. [In Persian]

Taghizade Ghleh Jogi, S., (2011), Investigating land use changes in Naqadeh area using remote sensing techniques and GIS. MSc. Thesis, Islamic Azad University. [In Persian]

References (in English)

Abedini, M., Yaghoob Nejad, N., (2017), Risk zonation of the landslides in Tehran province using Fuzzy Model. Quarterly Journal of Crisis Management, 11: pp.145-155.
Ambraseys, N.N., Melville, C.P., (1982), A history of Persian earthquakes. Cambridge earth science series, 219 p.
Ashjai, A., Nowroozi, A.A., (1978), Observed and probable intensity zoning of Iran. Tectonophysics, 49: pp.149-160.
Baker, J.W., Faber, M.H., (2008), Liquefaction Risk Assessment Using Geostatistics to account for Soil Spatial Variability. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE, 134(1): pp.14-23.
Campbell, K.W., (1981), Near-Source Attention of Peak Horizontal Acceleration. Bulletin. Seismological Society of American, 71(6): pp. 2039-2070.
Donovan, N., (1973), Earthquake hazards for buildings. Building practices for disaster mitigation. building science series 46, Nat. Bur of, standards, U. S. Dept. of Commerce, Washington D. C., pp.82-111.
Giannaraki, G., Kassaras, I., Roumelioti, Z., Kazantzidou, D., Ganas A., (2018), Deterministic seismic risk assessment in the city of Aigion (W. Corinth Gulf, Greece) and juxtaposition with real damage due to the 1995 Mw6.4 earthquake. Bull Earthquake Eng., pp.1-32.
Johnson, C., (2007), Impacts of prefabricated temporary housing after the disaster: 1999 earthquakes in Turkey. Habitat International Journal of Disaster Risk Science, 31(1): pp. 36-52.
Leonardi, G., Palamara, R., Cirianni, F., (2016), Landslide Susceptibility Mapping Using a Fuzzy Approach. Procedia Engineering, 161: pp.380-387.
Tanaka, K., (1966), An Introduction to Fuzzy Logic for Practical Applications. Springer New York, 148p.
Wells, D.L., Coppersmith, K.J., (1994), New empirical relationships among magnitude, rupture length, rupture width, rupture area, and surface displacement. Bull. Seism. Soc. Am., 84(4): pp. 974-1002.