

تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لرزه در گستره ساختگاه سد خرسان ۲ با استفاده از داده‌های سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی

مجتبی رحیمی شهید^{۱*}، نیما رحیمی^۲

^{۱*} گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد، Mr619htt@gmail.com

^۲ دانشکده زمین‌شناسی، دانشگاه تهران.

چکیده

هزینه‌های بسیار بالای احداث سازه‌های مهمی چون سدها، نیاز مبرم به مطالعات برآورد خطر زمین‌لرزه و لرزه‌زمین‌ساخت را به خوبی توجیه می‌نماید. سد خرسان ۲ یکی از پروژه‌های عظیم آبی کشور است که در ۶۰ کیلومتری جنوب لردگان واقع گردیده است. به علت اهمیت این پروژه آبی، بررسی لرزه‌خیزی و خطر زمین‌لرزه در گستره محل این سد ضروری می‌باشد. گستره مورد مطالعه در واحد زمین‌ساختی زاگرس و در زیر واحد زمین‌ساختی چین‌خورده از تقسیمات زمین‌شناسی ایران قرار گرفته است. به کمک تصاویر ماهواره‌ای، اطلاعات زمین‌لرزه‌ها، نقشه‌های زمین‌شناسی، تکتونیک، گسل‌های بنیادی و فعال، روند زمین‌ساختی منطقه مشخص گردید و لرزه‌خیزی ناحیه مورد ارزیابی قرار گرفت. تحلیل خطر لرزه‌ای گستره مورد مطالعه با استفاده از روش مقدماتی گوتنبرگ - ریشتر احتمال رخداد زمین‌لرزه‌های با بزرگی ۵ تا ۵/۵ ریشتر را در منطقه در ۱۰۰ سال آینده ۱۰۰٪ و زمین‌لرزه‌های با بزرگی ۷ ریشتر را کمتر از ۳۹٪ پیش‌بینی کرده است. با توجه به اطلاعات موجود، نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لرزه منطقه تهیه گردید. گستره مورد مطالعه از نظر خطر زمین‌لرزه به چهار بخش با خطرپذیری زیاد، متوسط، کم و خیلی کم تقسیم شد. بر این اساس ساختگاه سد خرسان ۲ در منطقه‌ای با خطر زمین‌لرزه‌ی خیلی کم قرار گرفت. در نهایت جهت مطالعه روند و سرشت لرزه‌خیزی در گستره نزدیک به ساختگاه سد، پیشنهاداتی کاربردی، ارائه گردیده است.

واژه‌های کلیدی: لرزه‌زمین‌ساخت، زمین‌شناسی، سد خرسان ۲، پهنه‌بندی خطر زمین‌لرزه، سنجش از دور، روش مقدماتی گوتنبرگ - ریشتر.

۱. مقدمه

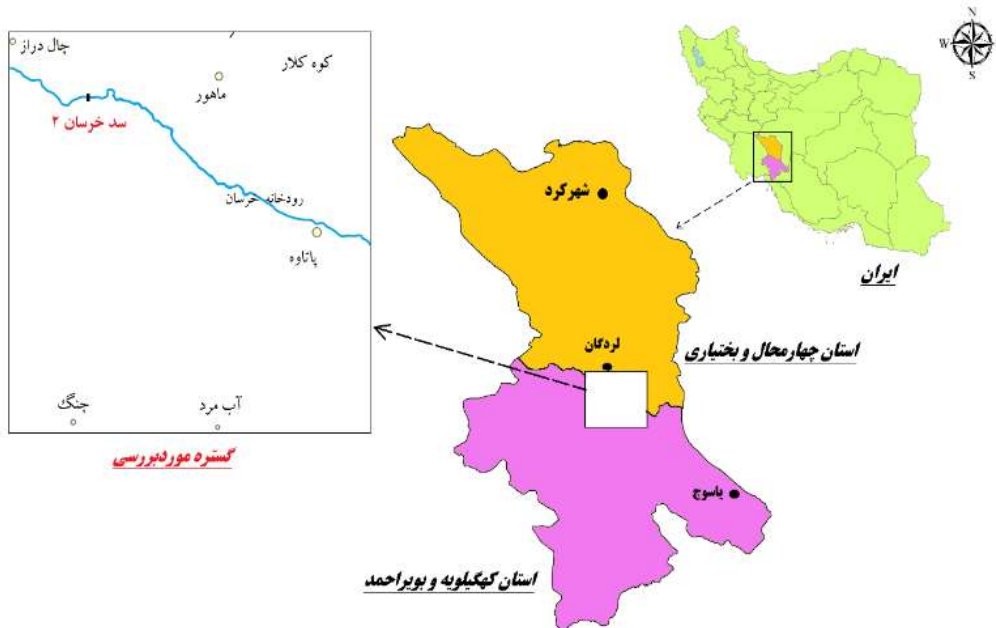
زمین لرزه‌ها از جمله بارزترین خطرات زمین‌شناسی هستند که موجب تخریب و آسیب جدی به سازه‌ها و جوامع شهری می‌شوند. کشور ایران از جمله کشورهای آسیب‌پذیر از بلایای طبیعی به‌ویژه زمین‌لرزه است. افزایش بی‌رویه جمعیت، ساخت‌وسازهای شهری و عمرانی و گسترش آن تا حاشیه شهرها، بدون برنامه‌ریزی مناسب و در نظر گرفتن تمهیدات و قوانین لازم، وخامت اوضاع را دوچندان کرده است [۱]. در جهت کاهش مخاطرات زمین‌لرزه در شهرها یا در نزدیکی سازه‌های عمرانی بزرگ، ضروری است تا مطالعات و تحقیقات جامعی در ارتباط با شناخت سیستم زمین‌لرزه، عملکرد و اثرات زمین‌لرزه و تشخیص مناطق با خطرپذیری بالا انجام شود. در این راستا با بررسی و شناسایی سیستم زمین‌ساختی و گسلش در مناطق مختلف، تعیین و طبقه‌بندی گسل‌ها و پهنه‌بندی منطقه بر اساس میزان زمین‌لرزه‌ها یا خطرپذیری، کمک بسیار بزرگی در کاهش خسارات در زمین‌لرزه‌های احتمالی آینده خواهد داشت. در مطالعات پیشین در مورد لرزه‌خیزی ساختگاه سد خرسان ۲، پارامترهای لرزه‌خیزی منطقه، احتمال رویداد و دوره بازگشت زمین‌لرزه‌ها به دست آمد [۲]. همچنین در مطالعه‌ای دیگر به بررسی لرزه‌زمین‌ساخت و برآورد خطر زمین‌لرزه ساختگاه سد خرسان سه (واقع در جنوب شرقی ساختگاه سد خرسان ۲) پرداخته شده است [۳]. مطالعات مشابهی در خصوص برآورد پارامترهای لرزه‌خیزی و پهنه‌بندی خطر لرزه‌خیزی در سایر نقاط کشور در ساختگاه سدهای آلان و دز [۴ و ۵]، گستره اصفهان [۶]، استان سیستان و بلوچستان [۷]، اهواز [۸]، شهرستان سمیرم [۹ و ۱۰]، سد شهید [۱۱]، منطقه زاگرس [۱۲، ۱۳، ۱۴، ۱۵، ۱۶، ۱۷، ۱۸]، گستره تهران [۱۹ و ۲۰] و مهاباد [۲۱] انجام شده است که در این مطالعات از روش‌های گوناگونی برای بررسی لرزه‌خیزی بهره جسته شده است.

احداث سد مخزنی خرسان ۲ بر روی رودخانه خرسان، در جنوب غربی شهرستان لردگان (استان چهارمحال و بختیاری)، به‌عنوان یکی از پروژه‌های آبی بزرگ کشور چشم‌انداز امیدبخشی در حل معضل کمبود آب در این منطقه به شمار می‌رود. لذا با توجه به اهمیت این پروژه‌ی عمرانی عظیم، در این پژوهش به بررسی وضعیت لرزه‌خیزی ساختگاه سد خرسان ۲ پرداخته شده است.

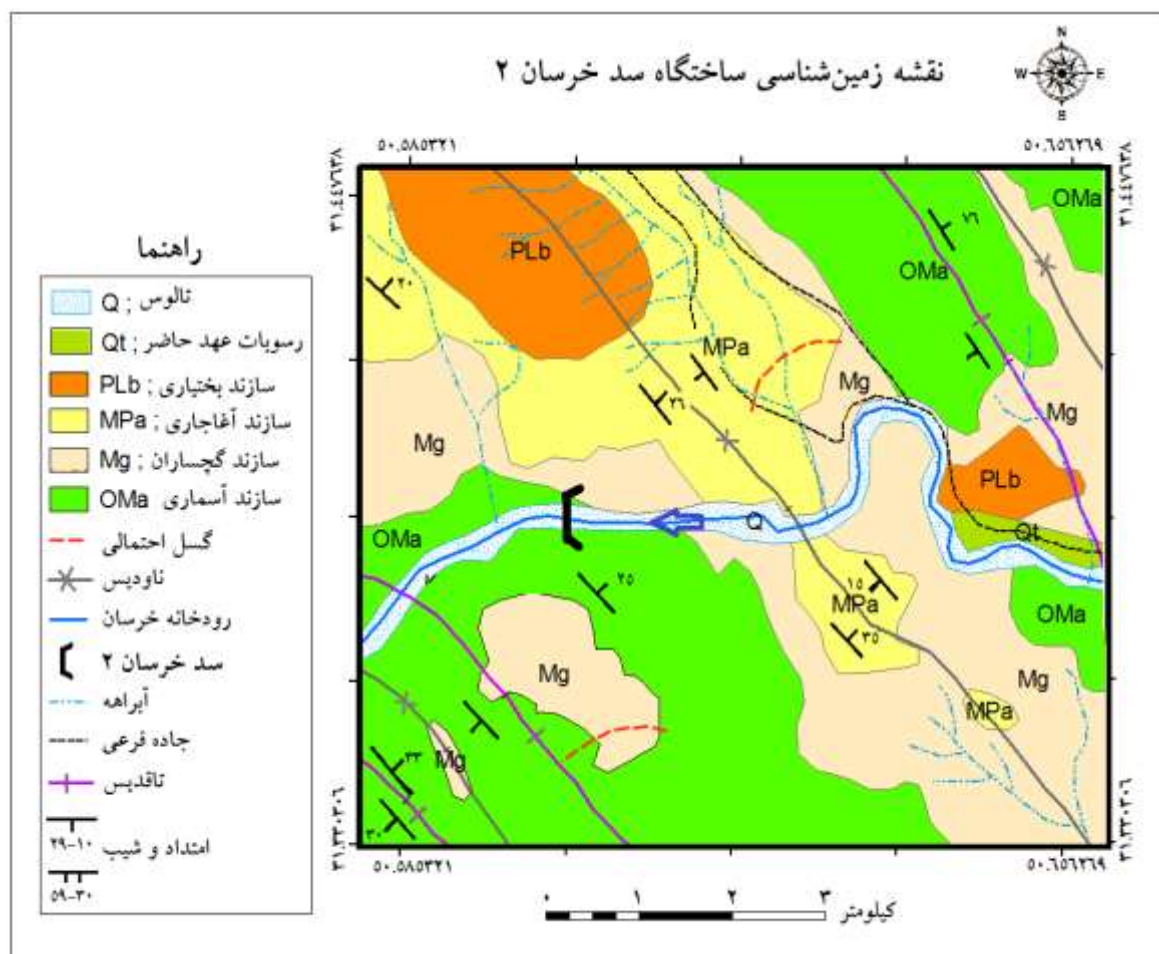
۲. منطقه مورد مطالعه

گستره مورد بررسی در نیمه غربی کشور و در استان‌های چهارمحال و بختیاری و کهگیلویه و بویراحمد واقع شده است (شکل ۱). این منطقه در طول جغرافیایی ۵۰ درجه و ۳۰ دقیقه تا ۵۱ درجه و عرض جغرافیایی ۳۱ درجه تا ۳۱ درجه و ۳۰ دقیقه قرار گرفته است. گستره مورد مطالعه در واحد زمین‌ساختی زاگرس و در زیر واحد زمین‌ساختی چین‌خورده از تقسیمات زمین‌شناسی ایران قرار گرفته است [۲۲]. این زون زمین‌ساختی در باختر و جنوب باختری فلات ایران قرار داشته و به سمت جنوب و جنوب خاوری به گسل میناب محدود می‌شود. زیر واحد زمین‌ساختی زاگرس چین‌خورده، از حوضه پیش‌گودال زاگرس و بلند زاگرس به ترتیب توسط گسل جبه کوهستان و سری گسل‌های بلند زاگرس جدا شده [۲۳] و شامل تاقدیس‌ها و گاهی ناودیس‌های بزرگ و مرتفع است که معمولاً به‌وسیله گنبدی‌های نمکی بریده می‌شوند.

سد خرسان ۲، بر روی رودخانه‌ی خرسان یکی از سرشاخه‌های مهم رودخانه‌ی کارون به مختصات ۳۱/۲۵ درجه عرض شمالی و ۵۰/۳۶ درجه طول شرقی در استان چهارمحال و بختیاری در فاصله‌ی حدود ۶۰ کیلومتری جنوب غربی شهرستان لردگان و در ناحیه جنوب غربی ایران در ارتفاعات زاگرس احداث شده است [۲۴]. سد خرسان ۲ با ارتفاع ۲۴۰ متر از پی و طول تاج حدود ۵۵۵ متر و از نوع بتنی دو قوسی است [۲۵]. در شکل ۲ نقشه زمین‌شناسی سد نمایش داده شده است [۲۶].



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی گستره مورد مطالعه

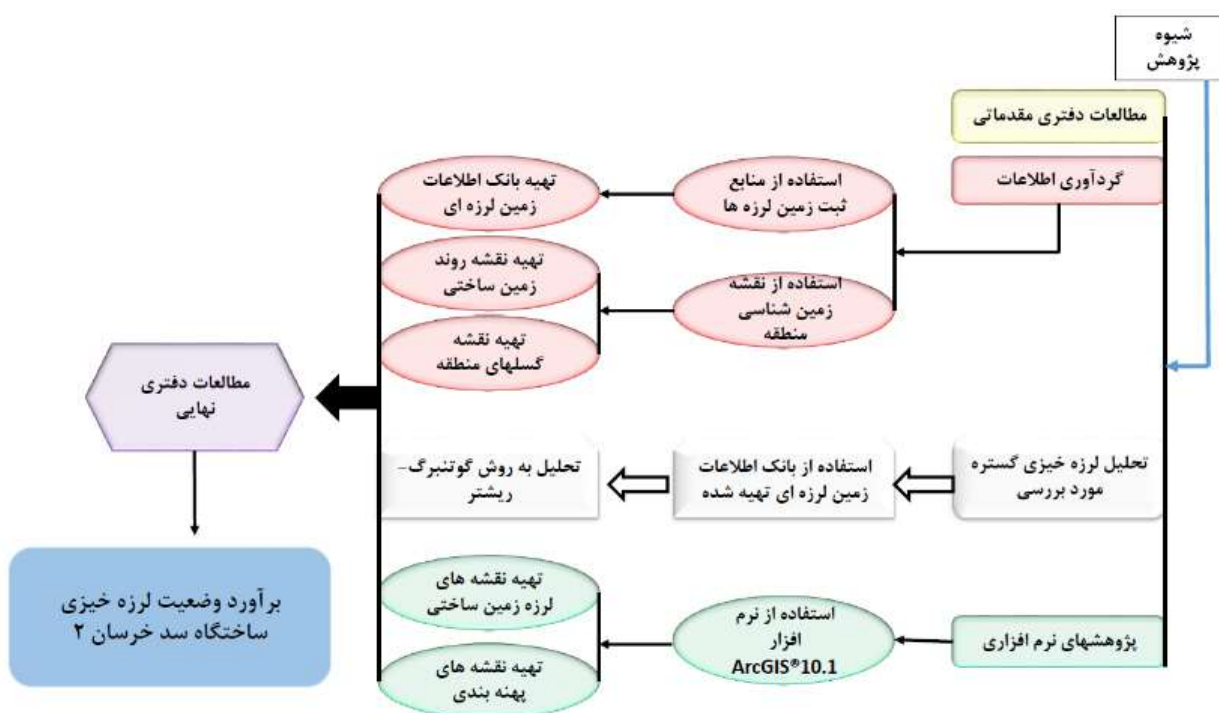


شکل ۲- نقشه زمین‌شناسی سد خرسان ۲ [۲۶]

۳. مواد و روش‌ها

۳-۱. روش انجام پژوهش

روش انجام این پژوهش شامل مطالعات دفتری مقدماتی، گردآوری اطلاعات لازم، تحلیل لرزه‌خیزی گستره مطالعاتی، پژوهش‌های نرم‌افزاری و مطالعات دفتری نهایی می‌باشد (شکل ۳). در مطالعات دفتری مقدماتی با مطالعه هدفمند چندی از منابع موجود در این زمینه، سعی شد اطلاعات پایه جهت انجام مراحل بعدی فراهم گردد. در مرحله بعد اطلاعات زمین‌لرزه‌های روی داده تا تاریخ ۱۳۰۱۵/۱۲/۱۵ میلادی تهیه گردید [۲۷]. همچنین جهت تهیه نقشه لرزه‌زمین‌ساختی گستره مطالعاتی نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ کوه‌کلاله - چنگ در محیط نرم‌افزار ArcGIS[®] ۱۰.۱ قرار گرفت و سپس گسل‌های مشخص شده در روی نقشه زمین‌شناسی در یک لایه اطلاعاتی و موقعیت چین‌خوردگی‌ها در لایه‌ای دیگر در نرم‌افزار ArcGIS[®] ۱۰.۱ مشخص گردید. همچنین تصاویر ماهواره‌ای جهت بررسی گسل‌های منطقه مورد بررسی قرار گرفت. موقعیت تمامی زمین‌لرزه‌ها در گستره شناسایی و توسط نرم‌افزار ثبت گردید. سپس موقعیت تمامی گسل‌ها و زمین‌لرزه‌ها (بزرگی، عمق و شدت) نسبت به هم در یک نقشه ارائه گردید. تحلیل لرزه‌خیزی منطقه با استفاده از روش گوتنبرگ - ریشتر^۱ انجام شده است. در این پژوهش جهت تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لرزه منطقه مطالعاتی، از تجزیه، تحلیل و همپوشانی لایه‌های اطلاعاتی در نرم‌افزار ArcGIS[®] ۱۰.۱ بهره جسته شده است.



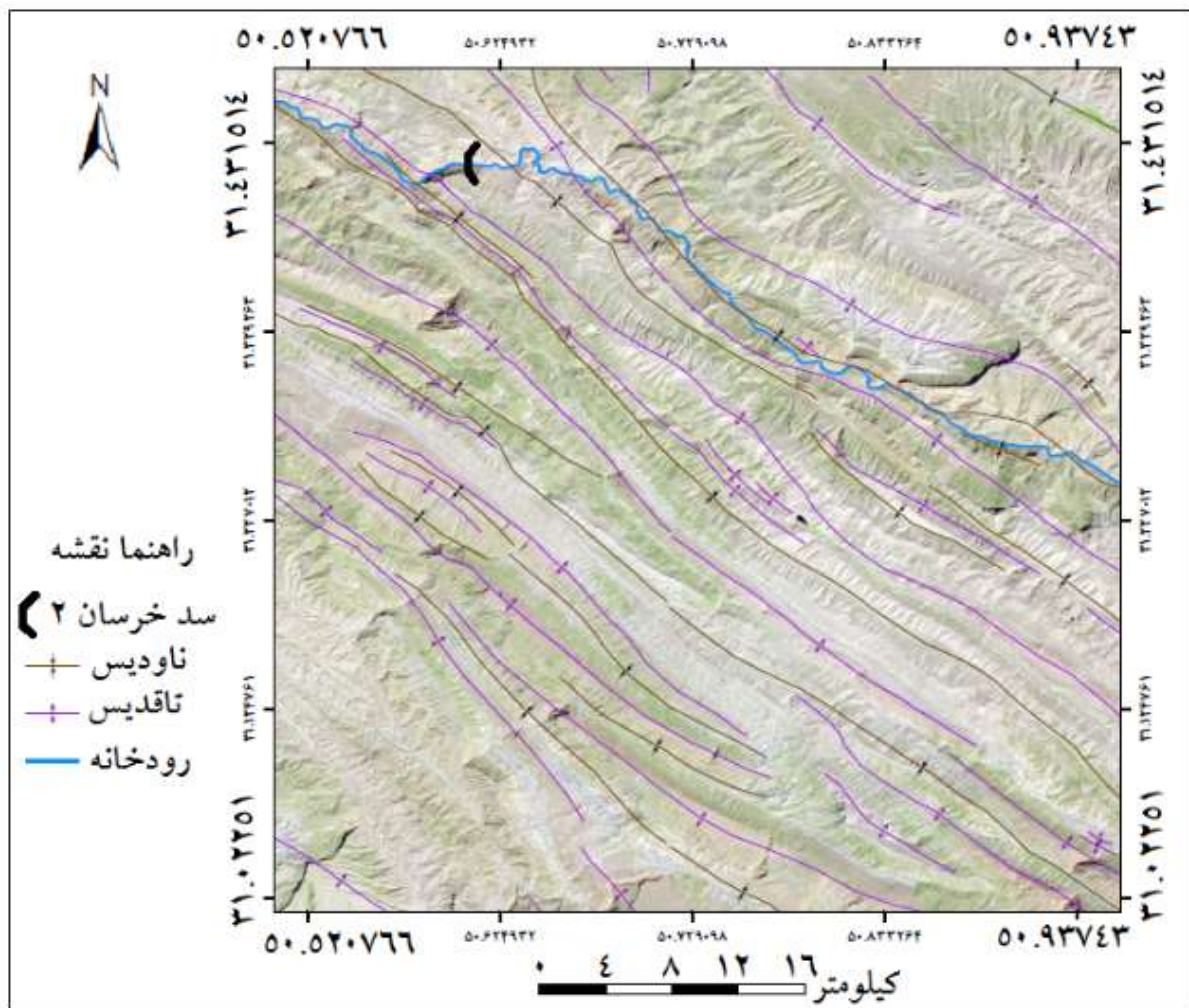
شکل ۳- روش انجام پژوهش

۳-۲. سیستم زمین‌ساختی و روند زمین‌ساختی

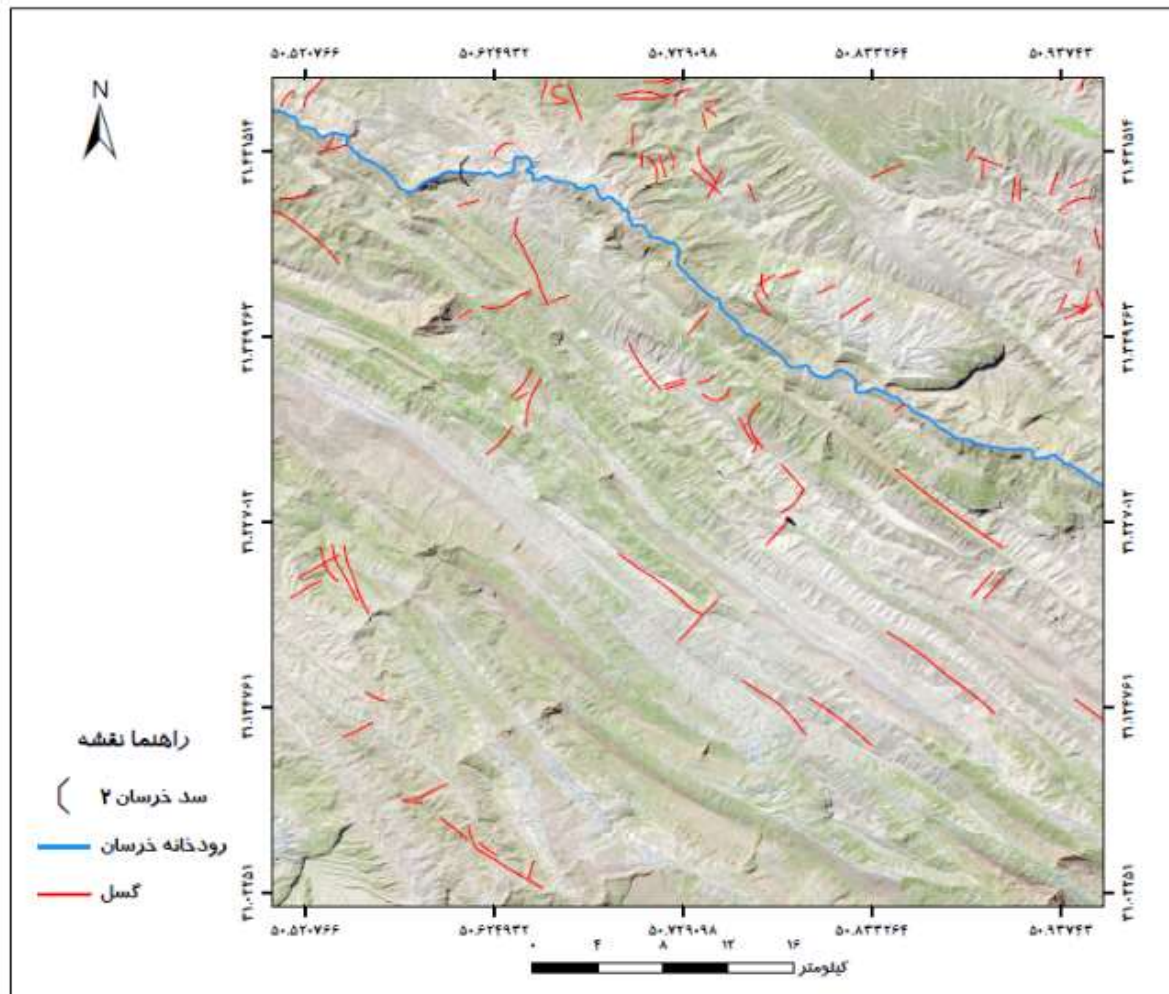
زمین‌لرزه‌ها اکثراً در راستای گسل‌های فعال منطقه رخ می‌دهند، به عبارتی گسل‌ها بیش‌ترین پتانسیل را در ایجاد زمین‌لرزه‌ها دارا می‌باشند؛ بنابراین، شناسایی محل دقیق گسل‌های اصلی و گسل‌های فرعی در مناطق، بیش‌ترین کمک را در مشخص

^۱ Gutenberg - Richter

نمودن مناطق خطرپذیر زمین لرزه دارد. در این پژوهش، با توجه به قرارگیری منطقه در پهنای فعال و مهم ایران، تمامی گسل - ها (گسل های فعال، گسل های دارای پتانسیل فعالیت و گسل های با فعالیت نا آشکار) به صورت فعال در نظر گرفته شده و در تحلیل ها لحاظ می گردد. همان طور که در شکل ۴ مشخص شده است، روند ساختمانی و زمین ساختی منطقه از روند حاکم بر پهنه زاگرس پیروی می کند. به عبارتی روند زمین ساختی منطقه دارای روندی شمال غربی - جنوب شرقی هستند. در شکل ۵ نقشه گسل های منطقه نمایش داده شده است. همان طور که در این شکل نیز مشاهده می شود اکثر گسل های منطقه روندی شمال غربی - جنوب شرقی را نشان می دهند.



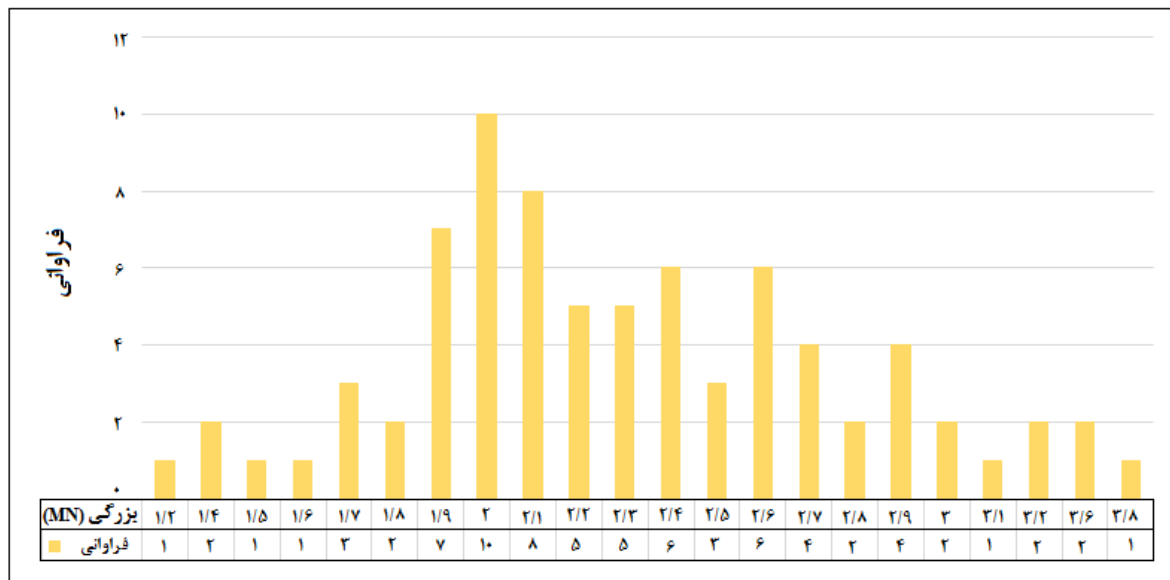
شکل ۴ - نقشه روند زمین ساختی در گستره مورد مطالعه



شکل ۵ - نقشه گسل‌های منطقه مورد مطالعه

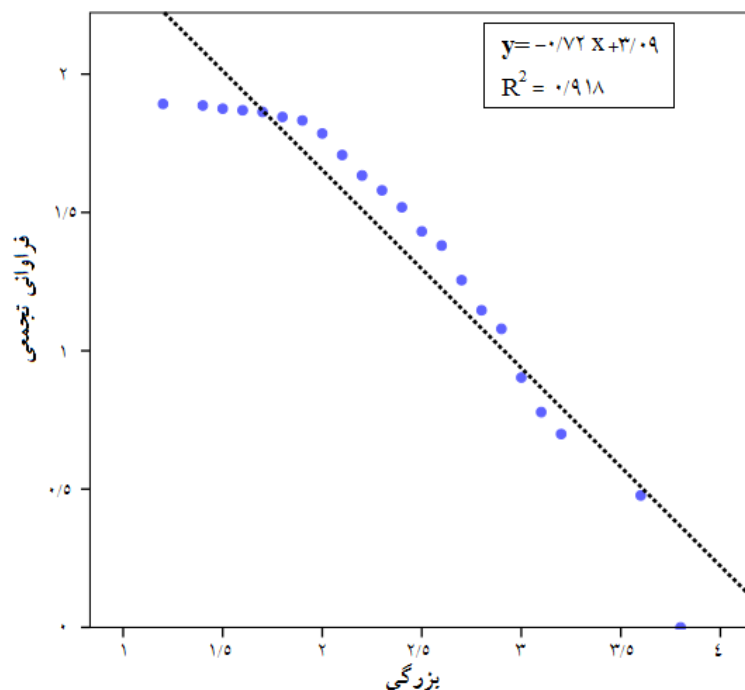
۳-۳. لرزه‌خیزی گستره مورد بررسی

جهت بررسی لرزه‌خیزی گستره مطالعاتی، در ابتدا، با استفاده از منابع اطلاعات جهانی و محلی فهرست‌نامه یکنواختی از زمین - لرزه‌های روی‌داده در گستره موردبررسی تا تاریخ ۲۰۱۵/۱۲/۱۵ میلادی تهیه شد. فراوانی بزرگی زمین‌لرزه‌های دستگاهی در گستره موردبررسی در شکل ۶ ارائه شده است. بر اساس فراوانی رویداد زمین‌لرزه‌ها بر حسب بزرگای آن‌ها که بر حسب روابط مختلف گوتنبرگ - ریشتر بیان می‌گردد و استفاده از روش‌های مختلف آماری، پارامترهای لرزه‌خیزی که همان ضرایب ثابت رابطه گوتنبرگ - ریشتر می‌باشند، محاسبه می‌شوند.



شکل ۶ - فرآوانی بزرگی زمین‌لرزه‌های دستگاهی در گستره مورد بررسی [۲۷]

از نظر فرآوانی رخداد زمین‌لرزه‌ها، فقر داده وجود دارد به گونه‌ای که تا سال ۱۹۹۵ هیچ زمین‌لرزه دستگاهی در این گستره به ثبت نرسیده است. در دوره جدید دستگاهی رشد داده دیده می‌شود و به‌ویژه از سال ۱۹۹۶ که زمان نصب شبکه‌های لرزه‌نگاری محلی در ایران است [۲۸] اوج داده‌ها در گستره مورد بررسی دیده می‌شود. پس از کنترل داده‌ها، فرآوانی و فرآوانی تجمعی هر دسته مشخص گردید و در نموداری بزرگی زمین‌لرزه برحسب بزرگی ناتلی (M_N) و $\log N_c$ (فرآوانی تجمعی زمین‌لرزه‌ها) در مقابل هم رسم شده است و سپس بهترین خط ممکن بین نقاط برازش شده است و فرمول خط با ضریب همبستگی ۰/۹۱/۸۰ به دست آمده است (شکل ۷).



شکل ۷ - نتایج حاصل از تحلیل به روش گوتنبرگ - ریشتر

تابع توزیع مقدماتی یا پایه گوتنبرگ - ریشتر در سال ۱۹۵۶ ارائه گردید. در این رابطه فراوانی زمین‌لرزه‌ها (N_c) به‌طور خطی و با در نظر گرفتن رابطه‌ی ۱ به بزرگا (M) نسبت داده می‌شود [۲۹].

$$\text{Log } N_c = a - bM_N \quad (۱)$$

در این رابطه، N_c فراوانی تجمعی زمین‌لرزه‌ها، a ضریب ثابت که با تغییر طول دوره آماری تغییر می‌کند، b ضریب لرزه‌خیزی که افزایش اندازه b در یک دوره زمانی مشخص نشان‌دهنده افزایش بزرگی زمین‌لرزه قابل رویداد بوده و M_N بزرگی زمین‌لرزه‌ها می‌باشد [۲۹].

نهایتاً در روش آماری، کمترین مربعات ضرایب a و b به ترتیب $۳/۰۹$ و $۰/۷۲$ به‌دست آمده است و در نتیجه فرمول گوتنبرگ - ریشتر به‌صورت رابطه ۲ به‌دست آمده است:

$$\text{Log } N_c = ۳.۰۹ - ۰.۷۲M_N \quad (۲)$$

با استفاده از داده‌ها و اطلاعات موجود در مورد زمین‌لرزه‌های سده بیستم، می‌توان احتمال رویداد زمین‌لرزه‌هایی با بزرگی مشخص را برای دوره بازگشت‌های مختلف به دست آورد. بدین منظور با استفاده از رابطه خطی گوتنبرگ - ریشتر، احتمال وقوع زمین‌لرزه در طول عمر مفید سازه به دست می‌آید (روابط ۳ و ۴).

$$N = ۱۰^{(a-bM_N)} \quad (۳)$$

$$P = ۱ - [\text{EXP}(-T \times N)] \quad (۴)$$

در روابط فوق، P احتمال وقوع زمین‌لرزه، M_N بزرگی زمین‌لرزه (بزرگی ناتلی) و T طول عمر مفید سازه برحسب سال می‌باشد.

۴. بحث و نتایج

با استفاده از رابطه ۴ احتمال وقوع زمین‌لرزه‌هایی با بزرگی ۵، ۵/۵، ۶، ۶/۵، ۷، ۷/۵ و ۸ ریشتر برای دوره‌های زمانی ۱۰ تا ۱۰۰ سال محاسبه گردید (جدول ۱). تحلیل خطر لرزه‌ای گستره مورد مطالعه با روش آماری - احتمالی (جدول ۱) نشان می‌دهد که احتمال وقوع زمین‌لرزه‌هایی با بزرگی ۵ و ۵/۵ ریشتر در صد سال آینده در گستره مورد بررسی ۱۰۰٪ می‌باشد. همان‌طور که در جدول ۱ نیز مشاهده می‌شود، روی دادن زمین‌لرزه‌ای با بزرگی بیش از ۷ ریشتر، در صد سال آینده در گستره مورد مطالعه بعید به نظر می‌رسد. احتمال وقوع چنین زمین‌لرزه‌هایی کم‌تر از ۳۹٪ برآورد گردیده است.

امروزه در کشورهای پیشرفته مطالعات لرزه‌خیزی دقیقی برای تهیه نقشه لرزه‌زمین‌ساخت با مقیاس‌های کوچک و بزرگ صورت می‌گیرد. از مطالعات جدید می‌توان به مطالعه چن^۲ و همکاران (۲۰۱۵) در جزیره میندورو در فیلیپین [۳۰]، چولیاراس^۳ و همکاران (۲۰۱۵) در منطقه ریف غرب کرینس [۳۱]، مطالعه کایال^۴ (۲۰۱۴) در مورد لرزه‌زمین‌ساخت کوه‌های هیمالیا [۳۲] و مطالعه منطقه فرگانا در جنوب قرقیزستان [۳۳] اشاره نمود. در این مطالعات سعی شده است مناطق لرزه‌زا و

^۲ Chen

^۳ Chouliaras

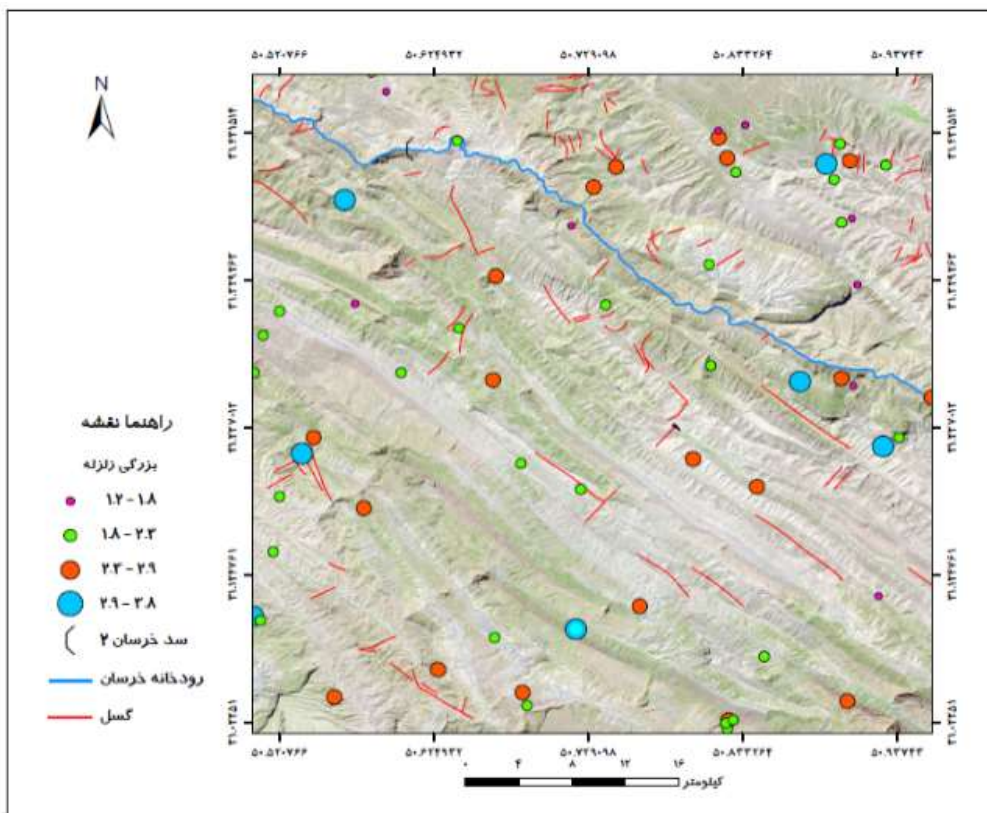
^۴ Kayal

شرایط غالب تکتونیکی آن‌ها مشخص گردد. در کشور ایران نقشه لرزه‌زمین‌ساخت کل ایران تهیه شده است، اما این نقشه کوچک‌مقیاس برای مطالعات دقیق لرزه‌ای کافی نمی‌باشد. در بعضی شهرها و استان‌های کشور مطالعات لرزه‌زمین‌ساخت به‌صورت جزئی‌تر انجام شده است [۳۴، ۳۵، ۳۶، ۳۷ و ۳۸]. بی‌شک جهت بررسی وضعیت لرزه‌خیزی سازه‌های عمرانی عظیم همچون سدها، تهیه نقشه لرزه‌زمین‌ساختی بزرگ‌مقیاس ضروری می‌باشد. در ادامه نقشه‌های لرزه‌زمین‌ساختی گستره مطالعاتی ارائه می‌گردد.

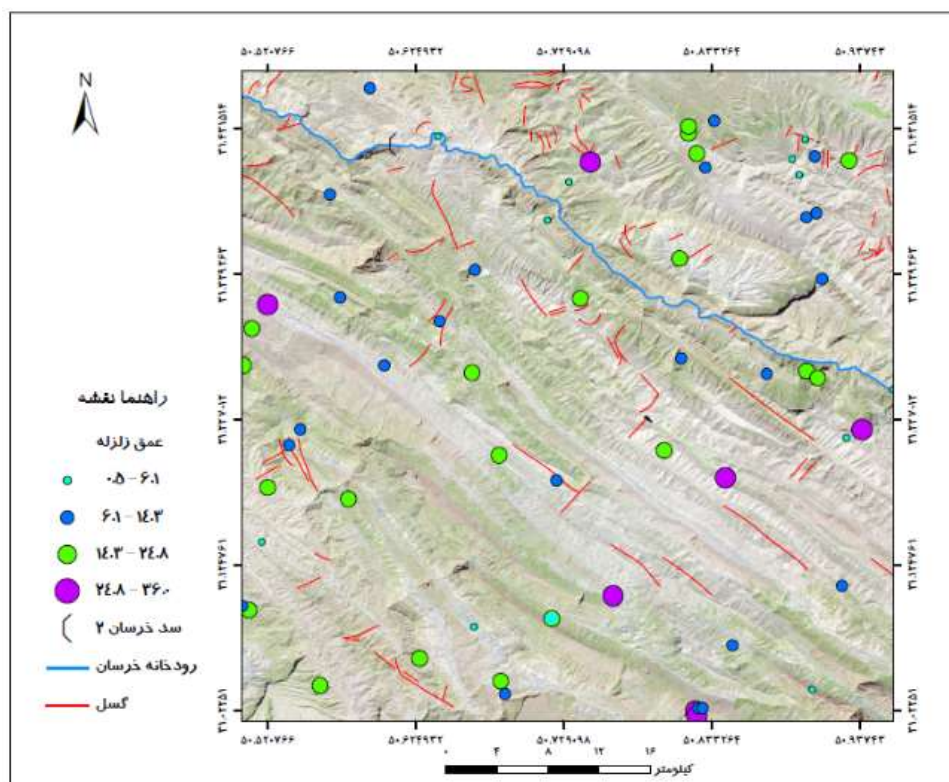
جدول ۱- احتمال وقوع زمین‌لرزه‌ها با بزرگی‌های مختلف در گستره مورد مطالعه (برحسب درصد)

M _N سال	۵	۵/۵	۶	۶/۵	۷	۷/۵	۸
۱۰	۹۵/۴۵	۷۴/۰۵	۴۴/۵۰	۲۲/۶۷	۱۰/۶۱	۴/۷۸	۲/۱۱
۲۰	۹۹/۷۹	۹۳/۲۶	۶۹/۲۰	۴۰/۱۹	۲۰/۱۰	۹/۳۳	۴/۱۸
۳۰	۹۹/۹۹	۹۸/۲۵	۸۲/۹۰	۵۳/۷۵	۲۸/۵۸	۱۳/۶۶	۶/۲۱
۴۰	۱۰۰	۹۹/۵۵	۹۰/۵۱	۶۴/۲۳	۳۶/۱۶	۱۷/۷۹	۸/۲
۵۰	۱۰۰	۹۹/۸۸	۹۴/۷۴	۷۲/۳۴	۴۲/۹۳	۲۱/۷۲	۱۰/۱۴
۶۰	۱۰۰	۹۹/۹۷	۹۷/۰۸	۷۸/۶۱	۴۸/۹۹	۲۵/۴۶	۱۲/۰۴
۷۰	۱۰۰	۹۹/۹۹	۹۸/۳۸	۸۳/۴۵	۵۴/۴۰	۲۹/۰۳	۱۳/۹
۸۰	۱۰۰	۱۰۰	۹۹/۱	۸۷/۲۰	۵۹/۲۴	۳۲/۴۲	۱۵/۷۲
۹۰	۱۰۰	۱۰۰	۹۹/۵	۹۰/۱۱	۶۳/۵۷	۳۵/۶۵	۱۷/۵
۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۹۹/۷۲	۹۲/۳۵	۶۷/۴۴	۳۸/۷۲	۱۹/۲۵

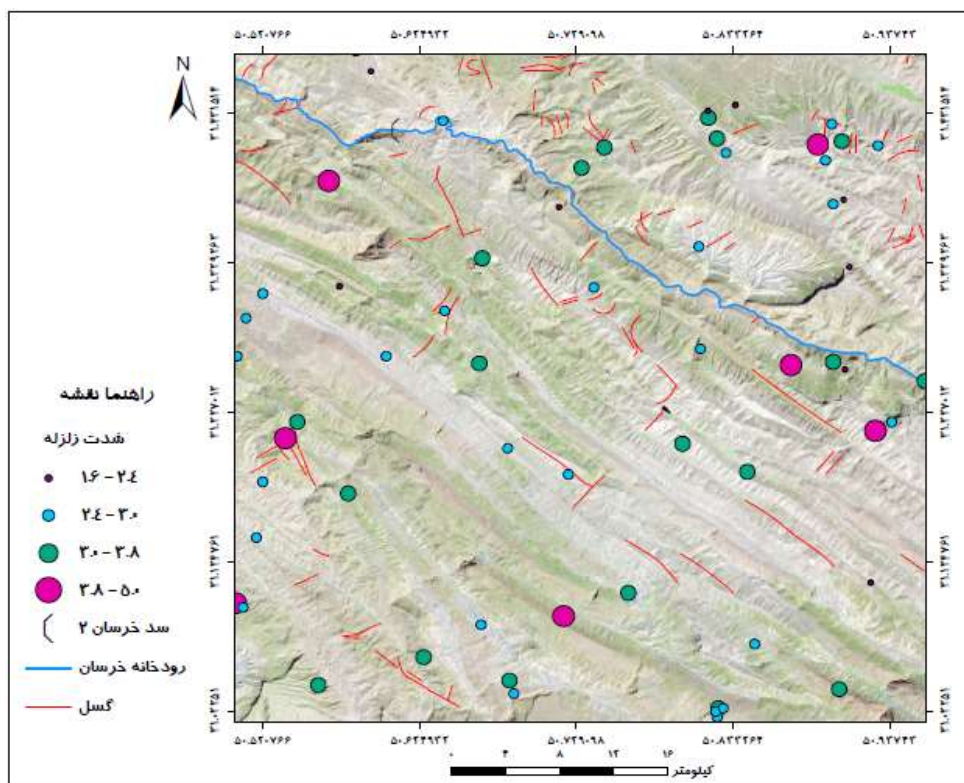
با استفاده از اطلاعات زمین‌لرزه‌های ذکر شده و نقشه‌های تهیه شده در محیط نرم‌افزار ArcGIS[®] ۱۰،۱ (شکل ۵)، نقشه لرزه‌زمین‌ساخت گستره مورد مطالعه بر اساس بزرگی، عمق و شدت زمین‌لرزه‌ها تهیه شده است (شکل‌های ۸ تا ۱۰). همان‌طور که در شکل ۸ مشاهده می‌شود توزیع زمین‌لرزه‌های روی داده در گستره مورد بررسی به‌طور یکنواخت می‌باشد. البته در بخش‌هایی از منطقه مورد مطالعه هیچ زمین‌لرزه‌ای ثبت نشده است. این موضوع علاوه بر احتمال مرتبط بودن با دوره بازگشت طولانی مورد نیاز و یا آزاد شدن انرژی به‌صورت بی‌لرزه (به‌صورت خزش) از دیدگاه نبوده‌های لرزه‌ای نیز باید مورد توجه قرار گیرد. گزارش نشدن زمین‌لرزه‌ها در چنین ناحیه‌هایی با دید محافظه‌کارانه، بیش‌تر باید به‌عنوان یک نبود لرزه‌ای و با احتمال رویداد یک زمین‌لرزه مهم، تلقی گردد. زمین‌لرزه‌های روی داده در اطراف ساختگاه سد خرسان ۲ بزرگی (M_N) کم‌تر از ۲/۳ ریشتر دارند. البته شکل ۹ نشان می‌دهد که زمین‌لرزه‌های اطراف ساختگاه سد، عمق کم‌تر از ۱۴/۳ کیلومتر دارند که این عمق کم زمین‌لرزه‌ها می‌تواند پایداری سازه را به‌ویژه پس از آگیری به خطر بیندازد. بر اساس نقشه‌های پهنه‌بندی بزرگی، عمق و شدت زمین‌لرزه تهیه شده برای منطقه مطالعاتی، ساختگاه سد خرسان ۲ در پهنه‌ای با بزرگی ۲/۱-۲/۲، شدت بین ۲/۹۱-۲/۹۵ و عمق بین ۱۱/۳-۱۲/۶ کیلومتر واقع گردیده است (شکل‌های ۱۱ تا ۱۳).



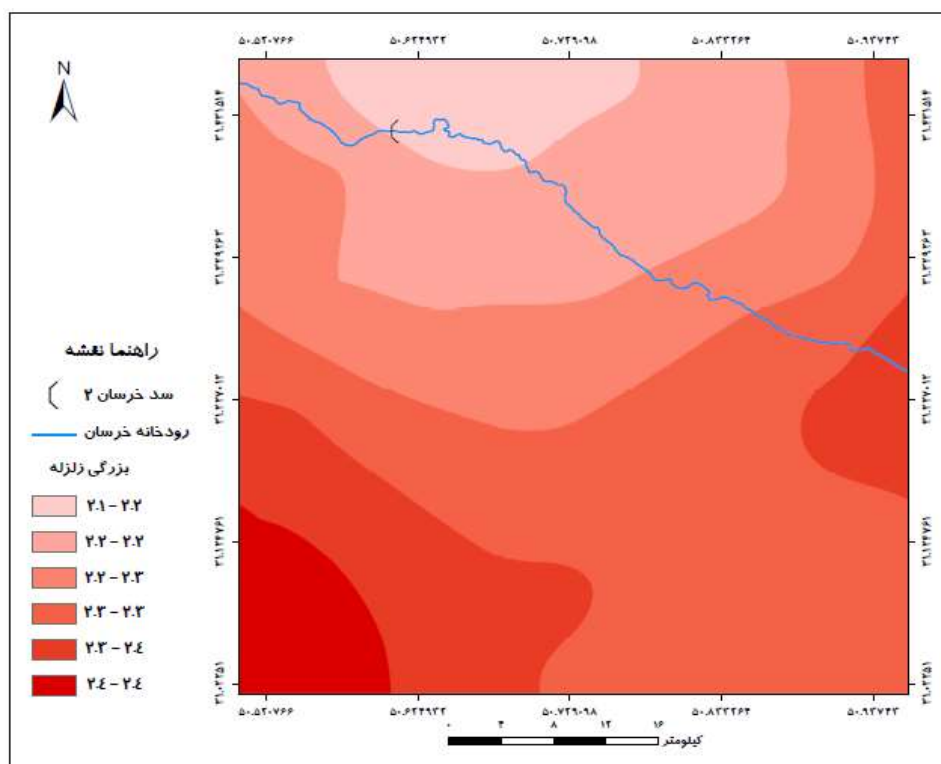
شکل ۸- موقعیت زمین‌لرزه‌ها و تقسیم‌بندی بر اساس بزرگی در نقشه لرزه‌زمین‌ساخت تهیه‌شده



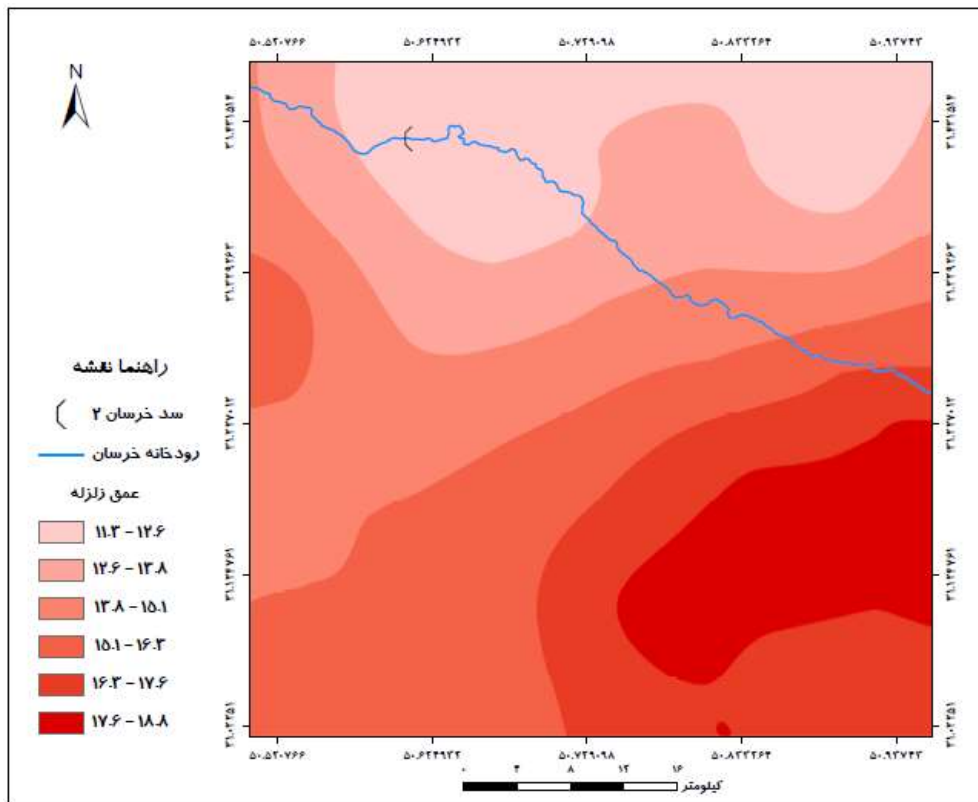
شکل ۹- موقعیت زمین‌لرزه‌ها و تقسیم‌بندی بر اساس عمق در نقشه لرزه‌زمین‌ساخت تهیه‌شده



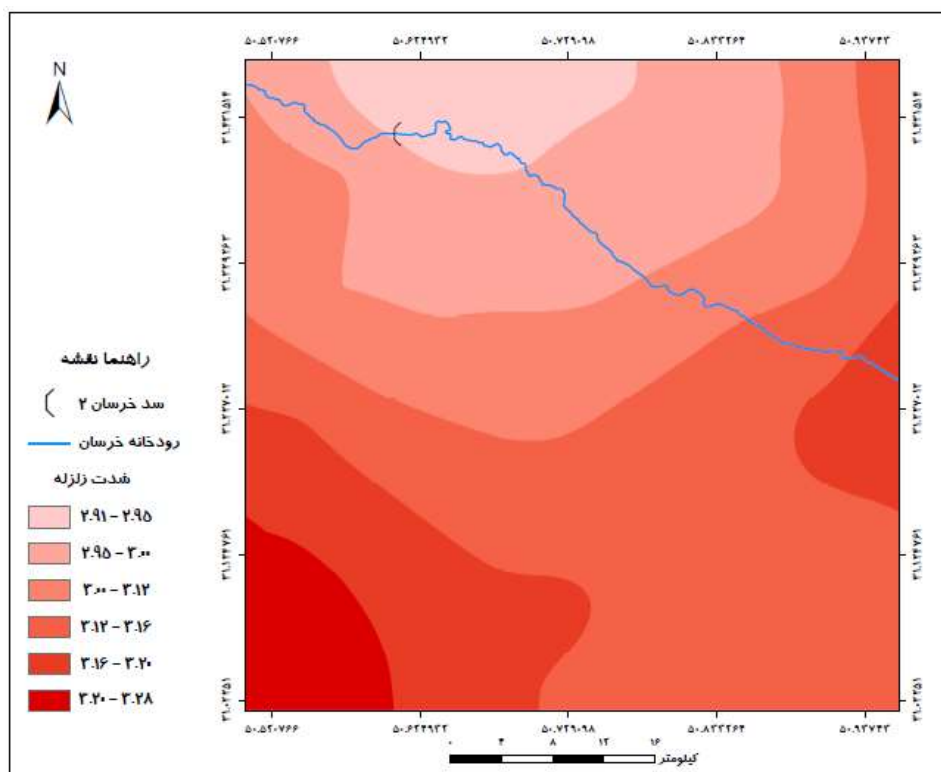
شکل ۱۰- موقعیت زمین لرزه‌ها و تقسیم‌بندی بر اساس شدت در نقشه لرزه‌زمین‌ساخت تهیه‌شده



شکل ۱۱- نقشه پهنه‌بندی بزرگی زمین‌لرزه



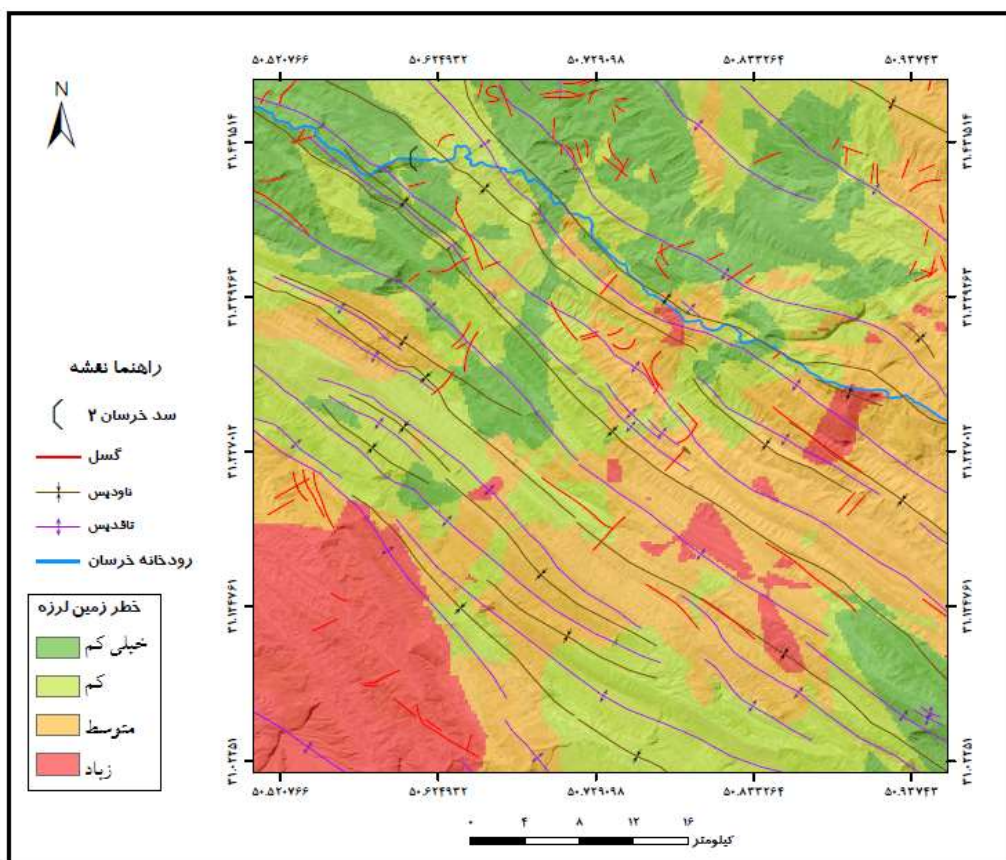
شکل ۱۲ - نقشه پهنه‌بندی عمق زمین‌لرزه



شکل ۱۳ - نقشه پهنه‌بندی شدت زمین‌لرزه

شناسایی مناطق پرخطر لرزه‌ای، می‌تواند گامی در جهت افزایش آگاهی برای آماده‌سازی نهادهای و مردم به‌منظور استحکام بخشیدن به بناها و نظارت بر ساخت‌وساز اصولی برای کاهش آثار مخرب ناشی از وقوع این پدیده به‌ظاهر ناگهانی و بی‌نظم ارائه دهد. در سال‌های گذشته مطالعاتی در این زمینه صورت گرفته است که هر یک از مطالعات اهداف خاصی را دنبال کرده‌اند. به‌عنوان مثال موسوی بفرولی (۱۳۹۳) به بررسی پهنه‌بندی خطر زمین‌لرزه در ایران و برآورد مقادیر بیشینه شتاب برای مراکز استان‌ها پرداخته‌اند [۳۹]. مسلماً جهت بررسی خطر زمین‌لرزه در ساختگاه سدها و ارائه برنامه‌های کاربردی جهت مقاوم‌سازی این‌گونه سازه‌ها، نمی‌توان به اطلاعات حاصل از نقشه‌های کوچک‌مقیاس استناد کرد. تخریب سد در اثر زمین‌لرزه و خسارات ناشی از آن، اهمیت تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی خطر زمین‌لرزه‌ی این‌گونه سازه‌ها را دوچندان کرده است.

بر اساس پارامترهایی مانند دوری و نزدیکی زمین‌لرزه‌ها به گسل‌ها، تعداد گسل‌ها در هر منطقه، بررسی دقیق مراکز سطحی زمین‌لرزه‌ها، عمق زمین‌لرزه‌ها، پهنه‌کانونی زمین‌لرزه‌ها و نقشه پهنه‌بندی زمین‌لرزه (شکل‌های ۱۱ تا ۱۳)، نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لرزه برای گستره موردبررسی در شکل ۱۴ ارائه شده است. گستره مورد مطالعه از نظر خطر زمین‌لرزه به چهار بخش با خطرپذیری زیاد، متوسط، کم و خیلی کم تقسیم شده است. بر این اساس ساختگاه سد خرسان ۲ در منطقه‌ای با خطر خیلی کم قرار گرفته است (شکل ۱۴)؛ بنابراین بر پایه مطالعات صورت گرفته می‌توان بیان نمود که جانمایی ساختگاه سد از نظر لرزه‌خیزی بسیار مناسب بوده و نسبت به سایر نقاط، وضعیت بسیار مناسب‌تری دارد. همچنین با توجه به لرزه‌خیزی پایین گستره ساختگاه سد، انتخاب سد از نوع بتنی دوقوسی، بهترین گزینه می‌باشد. البته شایان ذکر است که اثر زمین‌لرزه‌های بالقایی پس از ساخت سد و آبگیری دریاچه سد، باید مدنظر قرار گیرد.



شکل ۱۴ - نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لرزه تهیه شده برای گستره موردبررسی

با توجه به تجارب کسب شده از مراقبت لرزه‌ای سدهای جهان و همچنین توصیه‌های بین‌المللی، به‌خصوص بولتن‌های مختلف کمیته بین‌المللی سدهای بزرگ جهان، نصب شبکه‌های لرزه‌نگاری و شتاب‌نگاری برای سدها قابل پیش‌بینی می‌باشد. بر اساس این رهنمودها، نصب شبکه لرزه‌نگاری با توجه به هزینه بالای آن، تنها برای سدهایی با ارتفاع بیش از ۱۰۰ متر یا با حجم مخزن بیش از ۵۰۰ میلیون مترمکعب و یا در صورت عبور گسلی فعال از پی و مخزن سد توصیه می‌شود؛ بنابراین با توجه به ارتفاع ۲۴۰ متری و حداکثر حجم مخزن ۲۳۰۰ میلیون مترمکعبی سد خرسان ۲ و وقوع زمین‌لرزه‌های کم‌عمق در نزدیکی ساختگاه و احتمال وقوع زمین‌لرزه‌های با بزرگی ۵ و ۵/۵ ریشتر، پیشنهاد می‌شود تا شبکه لرزه‌نگاری با طراحی سیستمی رقمی و غیر تله‌متری که از نظر هزینه و همچنین ایمنی و تداوم کار دستگاه‌ها گزینه بسیار مناسبی می‌باشد حداقل دو سال قبل از ساخت سد، برای مطالعه روند و سرشت لرزه‌خیزی در گستره نزدیک به ساختگاه (شعاع حدود ۲۰ کیلومتر) طراحی و نصب گردد. به‌منظور مشاهده رفتار سد، پی و تکیه‌گاه‌های آن در صورت وقوع زمین‌لرزه توصیه می‌شود حداقل یک دستگاه شتاب‌نگار بر روی زمین طبیعی (ترجیحاً مشابه با پی ساختگاه) و پس از ساخت بدنه سد، چندین دستگاه شتاب‌نگار دیگر بر روی ترازهای مختلف و تکیه‌گاه‌های آن به‌صورت شبکه نصب گردد. با نصب چنین شبکه‌ای و ثبت شتاب‌های وارد شده بر سد در ترازهای مختلف، امکان بررسی پاسخ سد، پی و تکیه‌گاه‌ها میسر شده و توانایی ارزیابی و بهبود طراحی لرزه‌ای سد فراهم خواهد شد.

۵. نتیجه‌گیری

در این پژوهش با استفاده از تجزیه، تحلیل و همپوشانی لایه‌های اطلاعاتی در نرم‌افزار ArcGIS[®] ۱۰٫۱ عمل پهنه‌بندی خطر زمین‌لرزه در گستره ساختگاه سد خرسان ۲ انجام شد و نتیجه کار به صورت یک نقشه پهنه‌بندی شده در چهار کلاس خطرپذیری ارائه گردید. طبق نقشه پهنه‌بندی، ساختگاه سد خرسان ۲ در منطقه‌ای با خطر خیلی کم قرار گرفته است. مناطق با خطر متوسط و زیاد در بخش جنوب و جنوب غربی گستره مورد مطالعه واقع گردیده است. همچنین جهت تحلیل لرزه‌خیزی و برآورد پارامترهای لرزه‌ای گستره‌ی مطالعاتی از روش مقدماتی گوتنبرگ - ریشتر بهره جسته شده است. نتایج این روش نشان می‌دهد که احتمال وقوع زمین‌لرزه‌هایی با بزرگی ۵ و ۵/۵ ریشتر در صد سال آینده در گستره مورد بررسی ۱۰۰٪ می‌باشد. احتمال وقوع زمین‌لرزه‌های با بزرگی ۷ ریشتر در گستره مورد بررسی بسیار کم (کم‌تر از ۳۹٪) است.

۶. قدردانی

در پایان از همکاری و مساعدت مدیریت محترم شرکت مهندسی مشاور مهاب قدس و شرکت توسعه منابع آب و نیروی ایران، جهت در اختیار گذاشتن اطلاعات مورد نیاز و همچنین بستر سازی برای مطالعات پژوهشی صمیمانه کمال تشکر و قدردانی را داریم.

۷. منابع

۱. پورکرمانی، محسن؛ آرین، مهران. (۱۳۷۷). لرزه‌خیزی ایران. تهران: انتشارات دانشگاه شهید بهشتی.
۲. محمدی، مجتبی؛ صفایی، همایون؛ اجلوئیان، رسول. (۱۳۹۰). تحلیل لرزه‌خیزی و برآورد خطر زمین‌لرزه ساختگاه سد خرسان ۲. چاپ در مجموعه مقالات هفتمین کنفرانس زمین‌شناسی مهندسی و محیط‌زیست ایران. شاهرود، ص ۲۰-۲۸.
۳. پورکرمانی، محسن؛ ادیب، احمد؛ احمدی، کامیجانی، ناصر؛ لباف خانیکی، اعظم. (۱۳۹۰). لرزه‌زمین‌ساخت و برآورد خطر زمین‌لرزه ساختگاه سد خرسان سه. فصلنامه علمی - پژوهشی زمین‌شناسی محیط‌زیست، شماره ۱۶، ص ۱-۱۳.

۴. اشرف آبادی، سادات؛ غیطانچی، محمدرضا. (۱۳۹۱). لرزه خیزی و برآورد خطر زمین لرزه در ساختگاه سد آلان. فصلنامه زمین. شماره ۲۴. ص ۵-۱۵.
۵. آراین، مهران؛ احمدی کمیجانی، ناصر؛ سلگی، علی؛ رحیمی، نگین. (۱۳۸۹). لرزه زمین ساخت و برآورد خطر زمین لرزه ساختگاه سد جریانی دز. فصلنامه علمی - پژوهشی زمین و منابع، شماره ۲. ص ۱-۱۴.
۶. Rahimi Shahid, M., Kargaran, F., Rahimi, N. ۲۰۱۶, Using remote sensing data and GIS tools for preparation seismic zones map of Isfahan, Iran, Journal of RS and GIS for Natural Resources, ۴, ۴۷-۵۹.
۷. اسلامی، سعید؛ درخشانی، رضا. (۱۳۹۳). کاربرد روش های عددی در شناسایی چشمه های لرزه ای: مطالعه موردی استان سیستان و بلوچستان. مجله زمین شناسی کاربردی پیشرفته، شماره ۱۴. ص ۶۰-۶۴.
۸. رنگزن، کاظم؛ کابلی زاده، مصطفی؛ منصورنعمی، ابراهیم. (۱۳۹۴). پهنه بندی خطرپذیری زلزله با استفاده از سیستم استنتاج فازی و فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی. نشریه سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی. شماره ۲. ص ۱-۱۷.
۹. Rahimi Shahid, M., Rahimi, N. ۲۰۱۷, Earthquake hazard zoning using Analytical Hierarchy Process (AHP) and GIS techniques (Case study: central part of the Semirom city), Journal of New Findings in Applied Geology, ۲۲, ۱۰۹-۱۱۸.
۱۰. Rahimi Shahid, M., Ghafouri sedehi, E., & Rahimi, N. ۲۰۱۹. Estimating of seismicity parameters in Semirom City with preliminary Gutenberg - Richter Method, Conference: ۳۸th National Geosciences Congress., At Tehran, Iran, p. ۸.
۱۱. Rahimi Shahid, M., Kargaran, F., Rahimi, N., ۲۰۱۹. Seismicity and Seismic Hazard Analysis of Shahid Dam Site, Journal of Geographic Space, ۶۴, ۱۲۱-۱۴۰.
۱۲. Ali, S.A., Rangzan, K. & Pirasteh, S., ۲۰۰۳. Use of digital elevation model for study of drainage morphometry and identification stability and saturation zones in relations to landslide assessments in parts of the Shahbazan area, SW Iran. Cartography ۲, ۷۱-۷۶.
۱۳. Ahmad, A.S. & Saied, P., ۲۰۰۴. Geological applications of Landsat Enhanced Thematic Mapper (ETM) data and GIS: mapping and structural interpretation in southwest Iran ZSB. International Journal of remote Sensing ۲۱, ۴۷۱۵-۴۷۲۷.
۱۴. Kadinsky- Cade, K. & Barazangi, M., ۱۹۸۲. Seismotectonics of southern Iran: the Oman line. Tectonics ۵, ۳۸۹-۴۱۲.
۱۵. Pirasteh, S., Ziaian, H. & Rizvi, S., ۲۰۰۵. Comparative Study of OIF and Crosta Methods on ETM+ ۲۰۰۲: Using Remote Sensing Techniques in Arid and Semi-arid Environment Esfahan Iran. Indian Journal of Petroleum Geology ۱, ۶۷-۷۶.
۱۶. Pirasteh, S., ۲۰۰۶. Channel profile for identification of unstable zones in Zagros mountain: Application of remote sensing and GIS. International Journal of Geoinformatics ۱, ۶۹-۷۸.
۱۷. حیدری، رضا؛ میرزایی، نوربخش. (۱۳۸۸). الگوی لرزه زمین ساختی گسل اصلی عهد حاضر زاگرس بین ۳۳ تا ۳۵ درجه عرض شمالی. مجله فیزیک زمین و فضا، شماره ۳. ص ۸۳-۹۶.
۱۸. کلانه، سمیه؛ آق اتابای، مریم. (۱۳۹۴). پهنه بندی فعالیت لرزه ای کمربند چین خورده - رانده ی زاگرس با استفاده از پارامترهای فرکتالی. مجله فیزیک زمین و فضا. شماره ۳. ص ۳۶۳-۳۷۵.
۱۹. Rahimi Shahid, M., Hoseinzadeh, V., Rahimi, N. ۲۰۱۴. Providing seismic zones of Tehran in GIS software, First National Conference on Civil Engineering, Architecture & Sustainable Development, At Yazd. Iran, p. ۹.

۲۰. Boostan, E., Mirzaei, N., Eskandari-Ghadi, M., Shafiee, A. ۲۰۱۲. Seismic zoning of Tehran region using fuzzy sets. *Journal of the Earth and Space Physics*. ۳۸, ۲۹-۴۴.
۲۱. Rahimi Shahid, M. ۲۰۱۵. providing seismic zones of Mahabad in GIS software, National conference of Geology and Exploration of Resources p. ۶.
۲۲. آقاباتی، سید علی. (۱۳۸۳). زمین‌شناسی ایران. چاپ اول. تهران: انتشارات سازمان زمین‌شناسی کشور.
۲۳. Berberian, M., ۱۹۹۵. Master blind thrust faults hidden under the Zagros folds: active basement tectonics and surface morphotectonics. *Tectonophysics* ۱, ۱۹۳-۲۲۴.
۲۴. شرکت توسعه منابع آب و نیروی ایران. (۱۳۸۹). طرح سد و نیروگاه خرسان ۲. گزارش زمین‌شناسی مهندسی. جلد (۷).
۲۵. مه‌اب قدس. (۱۳۸۹). مطالعات توجیهی سد و نیروگاه آبی سد خرسان ۲. گزارش زمین‌شناسی منطقه سد.
۲۶. رحیمی‌شهید، مجتبی. (۱۳۹۴). ارزیابی خصوصیات زمین‌شناسی مهندسی و ژئومکانیکی توده‌سنگ‌های بستر سد خرسان ۲ با تأکید بر آزمون دیلاتومتری. پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد زمین‌شناسی مهندسی. دانشکده علوم پایه. دانشگاه یزد. ۱۶۶ صفحه.
۲۷. ISC., (۲۰۱۵), "Earthquake data", Iranian seismological center. [on line]: <http://www.irsc.ut.ac.ir>.
۲۸. دهقان منشادی، سیدهادی؛ میرزایی، نوربخش؛ اسکندری قادی، مرتضی. (۱۳۹۱). بررسی لرزه‌زمین‌ساخت و لرزه‌خیزی منطقه اصفهان. مجله فیزیک زمین و فضا، شماره ۴. ص ۱-۲۲.
۲۹. Gutenberg, B. & Richter, C.F., ۱۹۵۶. Earthquakes Magnitude, Intensity, Energy and Acceleration. *Bulletin of the Seismological Society of American* ۲, ۱۰۵-۱۴۵.
۳۰. Chen, P.F., Olavere, E.A., Wang, C.W., Bautista, B.C., Solidum, R.U. & Liang, W.T., ۲۰۱۵. Seismotectonics of Mindoro, Philippines. *Tectonophysics* ۶۴۰, ۷۰-۷۹.
۳۱. Chouliaras, G., Kassaras, I., Kapetanidis, V., Petrou, P. & Drakatos, G., ۲۰۱۵. Seismotectonic analysis of the ۲۰۱۳ seismic sequence at the western Corinth Rift. *Journal of Geodynamics* ۹۰, ۴۲-۵۷.
۳۲. Kayal, J., ۲۰۱۴. Seismotectonics of the great and large earthquakes in Himalaya. *Current science* ۲, ۱۸۸-۱۹۷.
۳۳. Feld, C., Haberland, C., Schurr, B., Sippl, C., Wetzell, H.U., Roessner, S., Ickrath, M., Abdybachaev, U. & Orunbaev, S., ۲۰۱۵. Seismotectonic study of the Fergana Region (Southern Kyrgyzstan): distribution and kinematics of local seismicity. *Earth, Planets and Space* ۱, ۱-۱۳.
۳۴. ساسانی، بدری؛ میرزایی، محمود؛ قیطانچی، محمدرضا. (۱۳۸۸). برآورد خطر لرزه‌ای استان مرکزی (ایران). فصلنامه زمین. شماره ۴. ص ۵۷-۶۵.
۳۵. حسن‌زاده، رضا؛ عباس‌نژاد، احمد؛ علوی، اکبر؛ شریفی‌تشنیزی، ابراهیم. (۱۳۹۰). تحلیل خطر لرزه‌ای شهر کرمان با تأکید بر کاربرد GIS در ریز پهنه‌بندی مقدماتی درجه ۲. فصلنامه علمی - پژوهشی علوم زمین. شماره ۸۱. ص ۲۳-۳۰.
۳۶. اسفندیاری، فریبا؛ غفاری‌گیلانده، عطا؛ لطفی، خداداد. (۱۳۹۳). بررسی توان لرزه‌زایی گسل‌ها و برآورد تلفات انسانی ناشی از زلزله در مناطق شهری مطالعه موردی: (شهر اردبیل). مجله پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی. شماره ۴. ص ۱۷-۳۶.
۳۷. قائد رحمتی، صفر؛ خادم‌الحسینی، احمد؛ سیاوشی، طاهره. (۱۳۹۲). تحلیل میزان ریسک‌پذیری سکونتگاه‌های شهری استان لرستان از خطر زلزله. مجله جغرافیا و آمایش شهری - منطقه‌ای. شماره ۹. ص ۱-۱۴.
۳۸. محمودزاده، حسن. (۱۳۸۵). ارزیابی و پهنه‌بندی درجه تناسب توسعه فیزیکی شهر تبریز با استفاده از GIS. چاپ در مجموعه مقالات همایش ژئوماتیک ۸۵. تهران، ص ۱۲۴-۱۳۳.
۳۹. موسوی بفرولی، سید حسن؛ میرزائی، نوربخش؛ شعبانی، الهام؛ اسکندری قادی، مرتضی. (۱۳۹۳). پهنه‌بندی خطر زمین - لرزه در ایران و برآورد مقادیر پیشینه‌ی شتاب برای مراکز استان‌ها. مجله فیزیک زمین و فضا. شماره ۴. ص ۱۵-۳۸.

Using remote sensing data and GIS tools for preparation earthquake hazard zoning map of Khersan ۲ dam site, Iran

Mojtaba Rahimi Shahid^{۱*}, Nima Rahimi^۲

^{۱*} Department of Geology, Faculty of Science, Ferdowsi University of Mashhad, Iran.

Mr۶۱۹htt@gmail.com

^۲ Faculty of Geology, University of Tehran.

Abstract

The high cost of constructing important structures such as dams justifies the urgent need for studies of earthquake risk and earthquake sequestration. Khorsan ۲ Dam is one of the largest water projects in the country, located ۶۰ kilometers south of Lordgan. Due to the importance of this water project, it is necessary to investigate seismicity and earthquake hazard in the area of the dam. The study area is located in the Zagros tectonic unit and below the folded tectonic unit of the geological divisions of Iran. Satellite imagery, earthquake information, geological, tectonic maps, active and fundamental faults, regional tectonic trends were identified and the seismicity of the area was evaluated. Seismic hazard analysis of the study area using the Gutenberg-Richter preliminary probability of occurrence of earthquakes measuring ۵ to ۵,۵ on the Richter scale in the next ۱۰۰ years and ۱۰۰٪ of earthquakes measuring ۷ on the Richter scale below ۳۹ % Predicts. Based on the available information, a map of the earthquake hazard zoning was prepared. The study area was divided into four segments with high, medium, low and very low risk. Accordingly, the Khorsan ۲ Dam site was located in an area with very low earthquake risk. Finally, practical suggestions have been made to study the seismic trend and nature near the dam site.

key words: Seismotectonics, Geology, Khorsan ۲ Dam, Earthquake hazard zoning, Remote Sensing, Preliminary Gutenberg-Richter Method.