

پهنه‌بندی لرزه‌ای استان گلستان

عباس مهدویان^{۱*}

^۱ استادیار، پردیس شهید عباسپور، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۱۱/۰۳ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۱۱/۰۱

چکیده

گستره مورد مطالعه استان گلستان را در بر می‌گیرد و در ناحیه شمال، شمال خاوری ایران قرار گرفته است. این پهنه شامل ۳ نقشه چهارگوش گنبد، کوه کورخود و بخشی از گرگان می‌باشد. هدف از این پژوهش مطالعات تفصیلی لرزه‌خیزی- لرزه‌زمین‌ساختی، سعی در شناخت گسل‌های لرزه‌ای و تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لرزه بر پایه بیشینه مقادیر شتاب جنبش نیرومند زمین است. این بررسی‌ها برای ایمن‌سازی سازه‌های پر اهمیت در راستای کاهش مخاطرات جانی و اقتصادی در برابر خطر زمین‌لرزه و برنامه‌ریزی‌های آینده استان گلستان می‌تواند مؤثر باشد. از دید تقسیمات لرزه‌زمین‌ساختی، گستره مورد مطالعه در استان لرزه‌زمین‌ساخت ایران مرکزی و کپه‌داغ قرار گرفته است و از ویژگی‌های لرزه‌زمین‌ساختی آنها پیروی می‌کند. در این گستره گسل‌های لرزه‌ای بسیاری وجود دارد که در راستای آنها زمین‌لرزه‌های مخربی رخ داده است. مانند گسل آشاخانه که پاره خاوری گسل تکل کوه را در بر می‌گیرد و زمین‌لرزه‌های بزرگی همچون رخداد سال ۹۴۳ میلادی با بزرگای $7/4 Ms$ در پیوند با کشنگری این گسل رخ داده است. گسل‌های لرزه‌ای دیگری همچون خزر (مینودشت)، علی‌آباد، تکل کوه، گمیشان، مراوه‌تپه و ... از مهم‌ترین چشمه‌های لرزه‌ای هستند که با فعالیت دوباره آنها این استان می‌تواند به شدت تحت تأثیر قرار گیرد. نقشه‌های پهنه‌بندی لرزه‌ای بر پایه بیشینه شتاب جنبش نیرومند زمین و برای دوره بازگشت‌های ۴۷۵ و ۲۴۷۵ سال تهیه شده است. نتایج حاصل گویای این مطلب است که استان گلستان به ۴ پهنه لرزه‌ای تقسیم می‌شود: مناطق با بیشینه مقادیر شتاب (PGA) بیش از $0/35 g$ با نام نواحی با خطر لرزه‌ای بسیار زیاد، که بخش‌هایی از جنوب استان را در بر می‌گیرد. مناطق با بیشینه مقادیر شتاب (PGA) میان $0/30 g$ تا $0/35 g$ با نام مناطق با خطر لرزه‌ای زیاد، که بخش‌های جنوبی، خاوری و شمال خاوری استان را در بر می‌گیرد، مناطق با بیشینه مقادیر شتاب (PGA) میان $0/25 g$ تا $0/30 g$ با نام نواحی با خطر لرزه‌ای متوسط و مناطق با بیشینه مقادیر شتاب (PGA) کمتر از $0/25 g$ با نام نواحی با خطر لرزه‌ای پایین که بیشتر بخش‌های باختری و شمال باختری استان را در بر می‌گیرد. برای هر منطقه طیف طراحی با دوره بازگشت‌های ۴۷۵ و ۲۴۷۵ سال نیز ارائه شده است.

کلیدواژه‌ها: زون‌بندی لرزه‌ای، گلستان، کپه‌داغ، گمیشان، آشاخانه

* نویسنده مسئول: عباس مهدویان

E-mail: mahdavian@pwut.ac.ir

۱- پیش‌گفتار

این مطالعات بر پایه بررسی‌های لرزه‌زمین‌ساخت چهارگوش‌های گنبد کاووس، گرگان و کوه کورخود و برای پی بردن به موارد زیر و شناخت بیشتر آنها صورت گرفته است:

- تعیین پدیده‌های زمین‌ساختی و ویژگی‌های آنها در گستره طرح؛

- مشخص کردن مهم‌ترین فعالیت‌های زمین‌ساختی و معرفی گسل‌های فعال و لرزه‌زایی که در تعیین توان لرزه‌خیزی گستره طرح قابل توجه است.

- برآورد بیشترین بزرگای پیش‌بینی شدنی برای چشمه‌های لرزه‌زا و بیشینه شتاب جنبش نیرومند زمین برآمده از رخداد چنین زمین‌لرزه‌هایی در هر نقطه از چهارگوش‌ها.

برای تعیین معیارهای مهم لرزه‌زمین‌ساختی، محتوای ساختاری و سرشت لرزه‌ای گستره مورد مطالعه، بررسی‌های زمین‌شناسی ناحیه‌ای، فرایندهای حاکم بر زمین‌ساخت ناحیه‌ای، چهارچوب سامانه تنش که مسبب اصلی رخداد زمین‌لرزه است، تاریخچه لرزه‌ای ناحیه، محل و هندسه چشمه‌های زمین‌لرزه‌ای (گسل‌ها

یا چشمه‌های باریکه‌ای)، نوع گسلش و سازوکار آنها بررسی شده است. بررسی ریخت‌زمین‌ساختی روی تصاویر هوایی و ماهواره‌ای Landsat7 و نوع فعالیت

عناصر زمین‌ساختی و فعالیت چشمه‌های زمین‌لرزه‌ای با استفاده از بازدیدهای صحرایی و گردآوری داده‌های نوزمین‌ساختی انجام شده است. سپس با استفاده از

روابط تجربی موجود، مقدار بزرگای بیشینه قابل انتظار برای زمین‌لرزه‌ها و شرایط حاکم بر میدان تنش ارائه شد. تلفیق نتایج برآمده از این مطالعات با داده‌های لرزه‌ای

به معرفی چشمه‌های لرزه‌زا و مدل‌سازی آنها انجامید. موارد بالا به‌عنوان داده‌های ورودی، در تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی لرزه‌ای و برای برآوردی از متغیر شتاب جنبش

نیرومند زمین برآمده از رخداد زمین‌لرزه‌های احتمالی آینده به‌کار گرفته شد. در این بررسی‌ها از نقشه‌های ۱:۱۰۰۰۰۰، ۱:۲۵۰۰۰۰ و ۱:۱۰۰۰۰۰ منتشر شده توسط

سازمان زمین‌شناسی کشور نیز استفاده شده است.

۲- زمین‌ساخت

بر پایه تقسیم‌بندی زمین‌ساختی ارائه شده توسط Berberian (1976) گستره طرح در برگیرنده پهنه کپه‌داغ، واحد زمین‌ساختی البرز و پهنه ایران مرکزی است. در ادامه به ویژگی‌های هر کدام از این واحدها به صورت خلاصه اشاره می‌شود.

۲-۱. کمربند چین‌خورده فعال کپه‌داغ

این واحد مرز شمال خاوری فلات ایران را تشکیل می‌دهد و در کناره جنوب باختری پوخته قاره‌ای توران (جنوب اوراسیا) قرار دارد. کمربند کپه‌داغ از

سمت شمال به پهنه گسل اصلی کپه‌داغ می‌رسد و از سمت جنوب توسط چند گسل وارون از ایران مرکزی جدا می‌شود. رخداد زمین‌لرزه‌های کم‌ژرفا با

بزرگای زیاد از ویژگی‌های این کمربند است. اگرچه پهنه‌های تخریب دو زمین‌لرزه ۱۹۷۰/۷/۳۰ و ۱۹۷۴/۳/۷ با دو گسل رانده طولی در سطح زمین منطبق

می‌شود (گسل‌های قرناوه و تکل کوه) ولی حل صفحه گسلی این زمین‌لرزه‌ها (Jackson & Fitch, 1979) نشان دهنده حرکت چپ‌گرد در امتداد یک گسل راستالغز

با روند شمال خاور- جنوب باختر است. زمین‌لرزه‌های رخ داده در منطقه مورد مطالعه از نوع کم‌ژرفا هستند و بیشتر زمین‌لرزه‌ها در ژرفایی کمتر از ۲۰ کیلومتر روی داده‌اند.

(Jackson & Talebian (2002) نشان داده‌اند که بیشتر زمین‌لرزه‌های کپه‌داغ ژرفای کانونی کمتر از ۱۵ کیلومتر دارند.

۲-۲. واحد زمین‌ساختی البرز

این واحد توسط نبوی (۱۳۵۵) با نام واحد زمین‌ساختی گرگان- رشت نامیده شده است و دشت‌های جنوبی دریای خزر و بخش‌های شمالی رشته کوه‌های البرز را در

بر می‌گیرد. بزرگ‌ترین شکستگی‌های واحد زمین‌ساختی گرگان- رشت گسل‌های خزر (پاره‌ای از این گسل با نام پاره مینودشت در محدوده مورد مطالعه قرار دارد) و

شمال البرز با شاخه‌های آنهاست. سازوکار زمین‌لرزه‌ها در البرز مرکزی و باختری بیشتر از نوع سازوکار راستالغز

۲-۲. گسل مراوه تپه

یک گسل پی‌سنگی است. این گسل در امتداد خود رسوبات کواترنری را بریده است و از این رو یک گسل کواترنری به‌شمار می‌آید که فعالیت آن در کواترن به‌صورت لرزه‌ای و احتمالاً خزش بوده است. از سوی دیگر پیوستگی رویداد زمین‌لرزه ۱۸۱۰ میلادی با بزرگای $M_s 6/5$ به کنشگری گسل مراوه تپه (Berberian, 1994) می‌تواند نشان‌دهنده فعالیت لرزه‌ای آن باشد. این راندگی، بیش از ۱۰۰ کیلومتر طول دارد و در شمال شهرک مراوه تپه، از شمال رود اترک می‌گذرد. با بررسی‌های میدانی در شمال شهرک مراوه تپه برای پاره خاوری این گسل، صفحات کوچک و پراکنده‌ای همراه با آثار لغزش یافت شد. خردشدگی در واحدهای شیلی شمال روستاهای سوزش و خوجه گلدی نشان‌دهنده عملکرد گسل یادشده است.

۳-۳. گسل تکل کوه

پاره خاوری گسل تکل کوه - که گسل آشخانه نیز نامیده می‌شود با سازوکار رانده (وارون) و درازای پیرامون ۷۰ کیلومتر و پاره باختری با سازوکار راستالغز چپ‌گرد و درازایی حدود ۱۲۰ کیلومتر در گستره مورد مطالعه قرار دارند.

بررسی‌های میدانی نشان‌دهنده فعالیت پاره باختری گسل تکل کوه در کواترن است. در شمال خاور شهر کلاله در محل معدن شن و ماسه روستای عزیزآباد عملکرد مؤلفه عادی حرکت گسل تکل کوه با جا به‌جایی شیب‌لغزی به میزان ۶۰ سانتی‌متر در نهشته‌های جوان به روشنی دیده می‌شود (شکل ۲).

۴-۳. گسل احتمالی گمیشان

این گسل با درازای ۴۰ کیلومتر و راستای خاوری - باختری در شمال شهر گرگان و خاور شهرستان گمیشان قرار دارد. گسل احتمالی یادشده برای اولین بار شناسایی شده است و در دشت گرگان قرار دارد و به همین دلیل نمی‌توان به راحتی با شواهد زمین‌شناسی آن را شناسایی کرده و البته مکان‌یابی رومرکز دو زمین‌لرزه ۷ اکتبر ۲۰۰۴ میلادی ($M_s 5/4$) و ۱۰ ژانویه ۲۰۰۵ میلادی ($M_s 5/1$) در شمال گرگان (آق‌قلا) و در محدوده‌های پیرامون این گسل به‌فاصله ۳ ماه از یکدیگر می‌تواند در ارتباط با کنشگری این گسل در ژرفا باشد. رومرکز زمین‌لرزه ۳ آوریل ۱۹۷۰ با بزرگای $M_b 5/2$ نیز در پایانه خاوری این گسل مکان‌یابی شده است و احتمال رویداد این زمین‌لرزه را در پیوند با کنشگری گسل گمیشان تداعی می‌کند. همچنین رومرکز زمین‌لرزه تاریخی ۱۴۷۰ میلادی گرگان ($M_s 5/5$) نیز در پایانه خاوری گسل گمیشان مکان‌یابی شده است. اگرچه Berberian (1994) رویداد این زمین‌لرزه را در پیوند با کنشگری احتمالی گسل خزر دانسته است ولی احتمال کنشگری گسل گمیشان نیز می‌تواند مطرح باشد (شکل ۳). در ناحیه کلان‌لرزه‌ای زمین‌لرزه‌های یادشده یک پرتگاه کوتاه با روند خاوری - باختری وجود دارد که از خاور بندر گمیشان شروع می‌شود و به سوی خاور تا محل پیوستن به رودخانه اترک ادامه می‌یابد. این روند با یک گسل وارون با شیب به سوی جنوب (گسل گمیشان) سازگار است. سازوکار این کانونی این زمین‌لرزه‌ها نشان‌دهنده روند تقریبی خاوری - باختری گسل مسبب این زمین‌لرزه‌ها و سازوکار وارون آن است که با وضعیت لرزه‌زمین‌ساختی البرز خاوری و کپه‌داغ همخوانی دارد. وضعیت بالا نشان‌دهنده فعال بودن گسل گمیشان است.

۴-۴. لرزه‌خیزی گستره مورد مطالعه

بررسی زمین‌لرزه‌های ثبت شده نشان می‌دهد که زمین‌لرزه‌های این منطقه اندازه‌های متفاوتی با بیشینه بزرگای $7/4$ دارند. هیچ شاهدهی برای زمین‌لرزه‌های رخ داده در کمربندهای کوهستانی البرز و کپه‌داغ و البرز که بزرگ‌تر از رویدادهای تاریخی ۲۲ دسامبر ۸۵۶ کومس ($M_s 7/4$)، ۹۴۳ میلادی اترک - نسا ($M_s 7/4$) و رویدادهای دستگاهی ۱ مه ۱۹۲۹ کپه‌داغ ($M_s 7/3$) و ۲۰ ژوئن ۱۹۹۰ رودبار ($M_s 7/4$) باشند، وجود ندارد این مسئله توسط تحلیل لرزه‌خیزی تاریخی و دستگاهی ثابت شده است. Jackson & Talebian (2002) نشان داده‌اند که بیشتر زمین‌لرزه‌های کپه‌داغ ژرفای

چپ‌گرد و فشاری روی سطوح گرهی با راستای شمال باختری - جنوب خاوری است. برای نمونه می‌توان به زمین‌لرزه‌های ۲۶ مارس ۱۹۸۳، ۲۰ ژانویه ۱۹۹۰ و ۲۰ ژوئن ۱۹۹۰، که سازوکار همگی از نوع راستالغز چپ‌گرد با مؤلفه فشاری است و زمین‌لرزه‌های ۲ ژوئیه ۱۹۵۷، ۲۲ ژوئیه ۱۹۸۳ با سازوکار فشاری اشاره کرد.

۳-۳. ایران مرکزی

این واحد منطقه‌ای به‌شدت چین‌خورده است به‌گونه‌ای که بیشتر ایران مرکزی جزو کمربند جنبش‌های کوهزایی آلپ است. چین‌خوردگی‌ها، گسل‌های فراوان و روراندگی‌هایی که متعلق به زمان‌های مختلف هستند و مناطق دگرگون شده در آن دیده می‌شوند. مهم‌ترین ساختارهای زمین‌شناسی ایران مرکزی شامل پهنه‌های سندج - سیرجان در جنوب باختری با امتداد شمال باختر - جنوب خاور، ناحیه طیس - شتری در خاور با روند شمالی - جنوبی و پهنه لوت در خاوری‌ترین بخش است (Berberian, 1976). زمین‌لرزه‌های مخربی در این واحد به ثبت رسیده است.

۳-۳. گسل‌های اصلی گستره مورد مطالعه

مهم‌ترین گسل‌های موجود در گستره مورد مطالعه به‌ویژه آنهایی که در کواترن از خود فعالیت نشان داده‌اند به همراه ویژگی‌هایشان به اختصار در آن مطالعه بررسی و ارائه شده است.

در این مطالعات گسل‌های توانمند (Capable Faults) به گسل‌هایی گفته می‌شود که دارای یک یا چند ویژگی تعریف شده توسط USAEC (1973) یا ICOLD (1989) باشند. در جدول ۱ خلاصه‌ای از ویژگی‌های گسل‌های مهم و فعال منطقه مورد مطالعه و شرح مختصری از شماری از آنها آورده شده است.

۳-۱-۳. گسل خزر

این گسل با راستای خم‌دار در کناره جنوبی دریای خزر قرار گرفته است. سازوکار این گسل از نوع وارونه است. پاره‌ای از این گسل که در گستره مورد مطالعه قرار دارد، گسل مینودشت نیز نامیده شده است. رویداد زمین‌لرزه ۱۲ نوامبر ۸۷۴ میلادی گرگان با بزرگای $M_s 6/0$ و همچنین رویداد ۱۴۹۸ میلادی گرگان با بزرگای $M_s 6/5$ در پیوند با کنشگری گسل خزر (پاره مینودشت) بوده است (Berberian, 1994). رومرکز مه‌لرزه‌ای هر ۳ زمین‌لرزه تاریخی یادشده در چهارگوش نقشه گنبد کاووس مکان‌یابی شده است که در پیرامون شهر گنبد کاووس قرار دارند (شرکت مهندسی مشاور صحراکاو، ۱۳۸۷ و الف و ب ۱۳۸۸). بنابراین پاره گسل مینودشت یک گسل فعال و لرزه‌زاست.

بررسی میدانی گسل خزر در محل دیگری در شمال باختر شهر مینودشت (دوراهی کلاله) با مختصات جغرافیایی $37^{\circ} 18' 21''$ عرض شمالی و $55^{\circ} 28' 15''$ طول خاوری نشان‌دهنده آن است که در این محل نیز ۲ شاخه از گسل خزر (یکی کهن و دیگری نو) وجود دارد.

گسل اصلی و کهن در جنوب شاخه اصلی و جوان قرار دارد. در امتداد شاخه جوان گسل پشته کم‌ارتفاعی تشکیل شده است و در امتداد شاخه اصلی و کهن گسل بلندی‌های اصلی و بلند قرار دارند. در امتداد شاخه گسلی تازه نهشته‌های بادی یخچالی کواترن از سوی جنوب روی رسوبات آبرفتی کواترن ولی تازه‌تر شامل ماسه و سیلت و دیگر مواد آواری (بریده‌شده توسط جویبارها) در شمال رانده شده است. بر پایه یافته‌های برآمده از بررسی میدانی در دو محل یادشده در بالا می‌توان مدلی ارائه کرد که در آن شاخه گسلی جوانی از گسل اصلی جدا شده و در نتیجه در جنوب شاخه کهن یک پشته توپوگرافی کم‌ارتفاع روی فرادیواره شاخه گسل جدید به‌وجود آمده است. در ترانشه‌ای که در کنار جاده دسترسی به سیلوی در حال ساخت (رو به‌روی دوراهی کلاله) وجود دارد شیب بسیار کم نهشته‌های آبرفتی به‌سوی جنوب می‌تواند نشان‌دهنده حرکات جوان گسل خزر باشد (شکل ۱).

شتاب و طیف‌های طراحی از روش احتمالاتی استفاده شده است. مدل تهیه شده از چشمه‌های لرزه‌زا در گستره مورد بررسی بر پایه نقشه‌های لرزه‌زمین ساخت شکل ۳ بنا نهاده شده است. در این مدل گسل‌های راستالغز فعال به صورت خطی و گسل‌های فشاری فعال به صورت باندهای باریک لرزه‌ای مدل شده‌اند (برای دریافت اطلاعات بیشتر می‌توان به گزارش پهنه‌بندی لرزه‌ای استان گلستان (۱۳۹۰) مراجعه کرد). این مطالعات بر پایه روش معرفی شده توسط Cornell (1968) و روابط Bender & Perkins (1987) انجام شده است. بیشینه مقادیر شتاب افقی در شبکه‌ای از نقاط (به‌فاصله تقریبی یک کیلومتری از یکدیگر) درون گستره طرح و برای دوره بازگشت‌های ۴۷۵ (معادل سطح SL1) و ۲۴۷۵ سال (معادل سطح SL2) محاسبه و پس از میانگین‌گیری از دو رابطه یادشده در شکل‌های ۴ تا ۷ برای مؤلفه‌های افقی و قائم به صورت خطوط هم‌تراز بیشینه مقادیر شتاب ارائه شده است.

بر پایه بیشینه مقادیر شتاب (PGA) به‌دست آمده برای هر دوره بازگشت استان گلستان به‌صورت پهنه‌هایی با مقادیر متغیرهای لرزه‌ای متفاوت پوشش داده شده است. بر پایه تقسیم‌بندی ارائه‌شده در آیین‌نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زمین‌لرزه که منطقه مورد مطالعه را بیشتر در پهنه با لرزه‌خیزی بالا قرار داده است (استاندارد ۲۸۰۰)، نقشه پهنه‌بندی شده با دوره بازگشت ۴۷۵ سال (شکل ۴) دربرگیرنده ۴ منطقه به صورت زیر است:

- نواحی با بیشینه مقادیر شتاب (PGA) بیش از $g/3.5$ ؛ این مناطق با خطر لرزه‌ای بسیار زیاد بخش جنوب باختری منطقه را دربر می‌گیرد.
 - نواحی با بیشینه مقادیر شتاب (PGA) میان $g/3.0$ تا $g/3.5$ که مناطق با خطر لرزه‌ای زیاد هستند.
 - نواحی با بیشینه مقادیر شتاب (PGA) میان $g/2.5$ تا $g/3.0$ که مناطق با خطر لرزه‌ای متوسط هستند.
 - نواحی با بیشینه مقادیر شتاب (PGA) کمتر از $g/2.5$ که مناطق با خطر لرزه‌ای پایین معرفی می‌شوند.
- بدین ترتیب مشاهده می‌شود که نواحی جنوبی استان جزو مناطق با لرزه‌خیزی بسیار بالا و بخش‌های خاوری آن جزو پهنه با خطر نسبی بالا هستند.

۷- برآورد طیف پاسخ شتاب جنبش نیرومند زمین

با توجه به اینکه برای سازه‌های خاص رفتار دینامیکی اعضای مختلف آن اهمیت بیشتری دارد، برای دست‌یابی به این هدف باید تحلیل و طراحی به کمک روش‌های دینامیکی و با استفاده از شتاب‌نگاشت‌ها یا طیف‌های طراحی انجام شود. بنابراین توانایی محاسبه طیف پاسخ و انتخاب شتاب‌نگاشت‌های مناسب برای استفاده در تحلیل تاریخچه زمانی و نیز در تهیه طیف‌های طراحی برای استفاده در تحلیل طیفی، ضروری است. از این رو از روش‌های احتمالی و آماری استفاده شد و طیف‌های طراحی شتاب برای سطوح مختلف طراحی و برای پهنه‌های مختلف لرزه‌ای استان گلستان ارائه شد.

محاسبه طیف طراحی به روش احتمالاتی (EPRS)، برای هر یک از پهنه‌های لرزه‌ای و برای دوره بازگشت‌های ۴۷۵ و ۲۴۷۵ سال و مؤلفه‌های افقی و قائم و برای سنگ بستر لرزه‌ای محاسبه شد. سپس طیف طراحی به روش آماری (St.) و با استفاده از مجموعه‌ای از شتاب‌نگاشت‌های ثبت شده روی سنگ انتخاب شده از زمین‌لرزه‌های بزرگ ایران و دیگر نقاط جهان و به‌کارگیری روش‌های ریاضی مربوط برای همه پهنه‌های لرزه‌ای مطرح‌شده در بالا تهیه شد. بیشینه بزرگای زمین‌لرزه مشاهده‌شده در سده اخیر در گستره طرح برابر با $Ms 6/6$ و مربوط به زمین‌لرزه سال ۱۹۷۰ و بیشینه بزرگای مشاهده‌شده در سده‌های پیش (تاریخی) برابر با $Ms 7/4$ و مربوط به زمین‌لرزه سال ۹۴۳ میلادی است. از سوی دیگر بر پایه جدول ۱، گسل خزر توان لرزه‌زایی زمین‌لرزه‌ای با پتانسیل $Ms 7/4$ را در آینده دارد. بنابراین بازه

کانونی کمتر از ۱۵ کیلومتر دارند. بزرگ‌ترین زمین‌لرزه‌های روی داده در گذشته و قرن بیستم که بیشترین تأثیر را در گستره مورد مطالعه داشته‌اند در جدول ۲ ارائه شده است. با توجه به مطالب بالا پیشنهاد می‌شود ژرفای ۱۰ تا ۱۵ کیلومتر، به عنوان لایه لرزه‌زا (Seismogenic layer) در نظر گرفته شود.

زمین‌لرزه‌ها در گستره مورد مطالعه سازوکار راستالغز چپ‌گرد و وارون (با روند گسلی شمال‌خاور- جنوب‌باختر و خاوری - باختری) دارند. مهم‌ترین چشمه‌های لرزه‌زا در گستره مورد مطالعه در جدول ۱ ارائه شده است. همه گسل‌های یادشده یا نهشته‌های کوتاه‌تر را بریده‌اند و یا در رویداد زمین‌لرزه‌ای کشتگری داشته‌اند. بیشینه بزرگای مربوط به هر گسل توسط ۳ رابطه (Nowroozi (1985)، Wells & Coppersmith (1994) و Ambrasys & Jackson (1998) محاسبه و میانگین بیشینه بزرگای برآورد شده در این جدول ۲ آورده شده است.

۵- ویژگی‌های لرزه‌خیزی

بر پایه اطلاعات زمین‌لرزه‌های روی داده در گستره مورد بررسی متغیرهای لرزه‌خیزی برآورد شد. به این منظور داده‌های گردآوری شده تکمیل و پردازش شدند. رابطه بزرگا- فراوانی زمین‌لرزه‌ها به روش‌های مختلف از جمله گوتنبرگ- ریشتر (۱۹۵۷) برآورد شده که در مناسب‌ترین شکل از توابع توزیع دوکراندار گوتنبرگ- ریشتر (Gutenberg-Richter, Doubly Truncated) که توسط Kijko & Sellevoll (1992) و Kijko (2005) معرفی شده است، استفاده شد. ضرایب ثابت رابطه گوتنبرگ- ریشتر شامل متغیرهای لرزه‌خیزی β و λ (آهنگ رویداد Rate of Occurrence) و همچنین بیشینه بزرگای احتمالی M_{max} و دوره بازگشت و احتمال رویداد بزرگای زمین‌لرزه‌ها در بازه‌های زمانی متفاوت محاسبه شد. نتایج به دست آمده از برآورد متغیرهای لرزه‌خیزی در جدول ۲ برای گستره‌های مختلف و چگونگی دسته‌بندی زمین‌لرزه‌ها ارائه شده است. گفتنی است برای گستره مورد بررسی بر پایه دو گروه از داده‌های لرزه‌ای، (گروه اول شامل اطلاعات دستگاهی) سال‌های ۱۹۰۰ تا ۲۰۰۷ و گروه دوم شامل همه اطلاعات لرزه‌ای تاریخی و دستگاهی متغیرهای لرزه‌خیزی محاسبه و در محاسبات مد نظر قرار گرفته شد. برای دریافت اطلاعات بیشتر می‌توان به گزارش پهنه‌بندی لرزه‌ای استان گلستان (۱۳۹۰) مراجعه کرد.

۶- پهنه‌بندی لرزه‌ای

پهنه‌بندی لرزه‌ای در هر گستره‌ای بر پایه متغیرهای مختلفی از حرکات جنبش نیرومند زمین مانند بیشینه مقادیر بیشینه شتاب جنبش زمین (PGA) (با سرعت و تغییر مکان)، دامنه طیف پاسخ شتاب یا طیف فوریه، تعریف و از دید مهندسی معنی‌دار می‌شود. در روش‌های استاتیکی که معمول‌ترین و ساده‌ترین شیوه طراحی لرزه‌ای است متغیر PGA که معرف بیشینه دامنه مطلق جنبش نیرومند زمین است مورد استفاده قرار می‌گیرد. اگر چه برای شناخت پاسخ دینامیکی سازه باید تا مقادیر دامنه امواج در دوره‌های مختلف نیز در ارتباط با طراحی سازه مد نظر قرار گیرد. بنابراین در این موارد از مقادیر طیف پاسخ شتاب نیز استفاده می‌شود.

در محاسبه متغیرهای جنبش زمین از روش‌های تعیینی، احتمالی و آماری که هم‌اکنون مناسب‌ترین روش‌های تحلیل خطر زمین‌لرزه در جهان هستند استفاده می‌شود. در این مطالعات با استفاده از روش احتمالاتی نقشه پهنه‌بندی لرزه‌ای بر پایه متغیر شتاب جنبش نیرومند زمین و برای دوره بازگشت‌های مختلف تهیه و ارائه شده است. ارائه طیف طراحی برای پهنه‌های مختلف لرزه‌ای بخش بعدی این مطالعات است. در این مطالعه بر پایه میانگین روابط تجربی ارائه شده توسط Campbell & Bozorgnia (2003) و Ambraseys et al. (2005) برای محاسبه متغیر

۹- نتیجه گیری

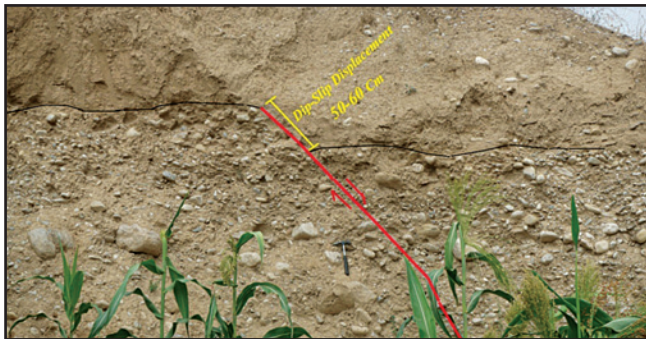
گستره مورد مطالعه در برگیرنده استان گلستان است و از نظر تقسیمات لرزه‌زمین‌ساختی در استان لرزه‌زمین‌ساخت ایران مرکزی و کپه‌داغ قرار دارد و از ویژگی‌های لرزه‌زمین‌ساختی آنها پیروی می‌کند. در این منطقه گسل‌های لرزه‌ای بسیاری که در راستای آنها زمین‌لرزه‌های مخربی رخ داده است، وجود دارد. زمین‌لرزه سال ۹۴۳ میلادی با بزرگای Ms ۷/۴ در این منطقه روی داده است. فعالیت‌های لرزه‌ای آینده این گسل‌ها می‌تواند این استان را به شدت تحت تأثیر قرار دهد.

نقشه‌های په‌ن‌بندی لرزه‌ای برای سنگ بستر لرزه‌ای، بر پایه بیشینه شتاب جنبش نیرومند زمین و برای دوره بازگشت‌های ۴۷۵ و ۲۴۷۵ سال تهیه شد. نتایج به دست آمده گویای این مطلب است که بدون در نظر گرفتن تأثیر آبرفت‌ها، استان گلستان به ۴ په‌ن لرزه‌ای در جنوب با بیشینه مقادیر شتاب (PGA) بیش از ۰/۳۵ g با نام نواحی با خطر لرزه‌ای بسیار زیاد، بخش‌های جنوبی، خاوری و شمال خاوری مناطق با بیشینه مقادیر شتاب (PGA) میان ۰/۳۰ g تا ۰/۳۵ g با خطر لرزه‌ای زیاد، مناطق با بیشینه مقادیر شتاب (PGA) میان ۰/۲۵ g تا ۰/۳۰ g با نام نواحی با خطر لرزه‌ای متوسط که بخش کمی از ناحیه را در بر می‌گیرد و بخش‌های باختری و شمال باختری استان که مناطق با بیشینه مقادیر شتاب (PGA) کمتر از ۰/۲۵ g نواحی با خطر لرزه‌ای پایین هستند تقسیم‌بندی شد. برای هر یک از مناطق بالا طیف طراحی لرزه‌ای و برای سنگ بستر لرزه‌ای ارائه شد.

انتخابی بزرگای زمین‌لرزه‌ها برای انتخاب شتاب‌نگاشت‌ها، میان Ms ۶/۲ تا Ms ۷/۴ و بازه فاصله کمتر از ۳۰ کیلومتر انتخاب شد. از این رو مجموعه‌ای از شتاب‌نگاشت‌ها انتخاب و بررسی‌های آماری روی آنها انجام شد. تأثیر فاصله بسیار نزدیک به گسل به دلیل نبوده داده شتاب‌نگاشتی کافی در این بررسی‌ها در نظر گرفته نشده است. نتایج به دست آمده از دو روش با یکدیگر مقایسه شدند. نمونه‌ای از این انطباق در شکل‌های ۸ تا ۱۱ نشان داده شده است. طیف برآمده از روش آماری پوش مناسبی را برای همه دامنه‌ها در دوره‌های مختلف و برای طیف برآمده از روش احتمالاتی و سنگ بستر لرزه‌ای ارائه کرد. برای دریافت اطلاعات بیشتر می‌توان به گزارش مطالعات لرزه‌خیزی، لرزه‌زمین‌ساخت و په‌ن‌بندی لرزه‌ای استان گلستان (۱۳۹۰) مراجعه کرد.

۸- معرفی طیف پایانی پاسخ شتاب طرح در گستره طرح

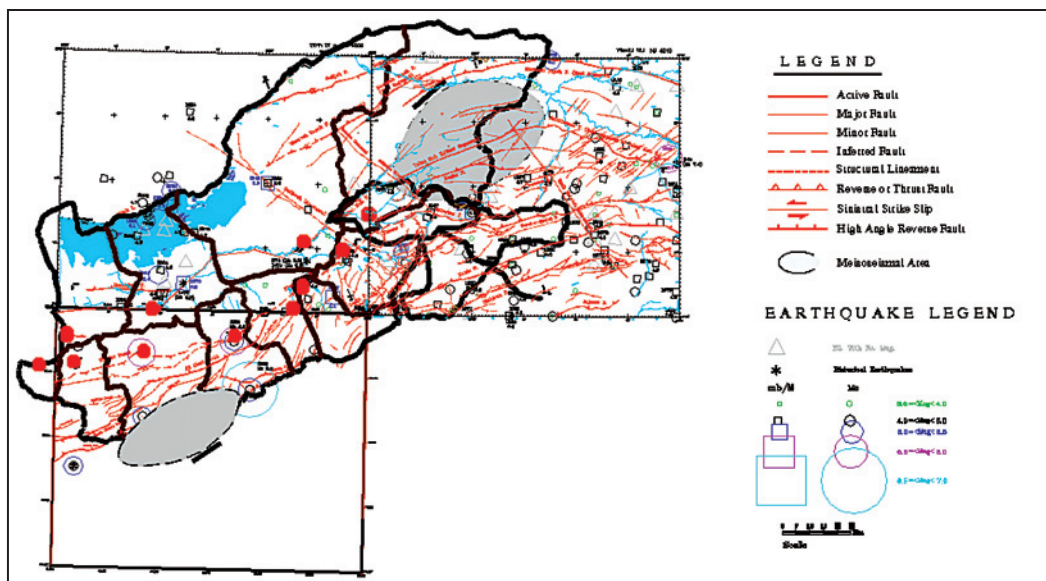
با توجه به همخوانی مناسب به دست آمده میان نتایج برآمده از روش آماری با طیف‌های برآمده از روش احتمالی، نتایج برآمده از روش آماری به عنوان طیف پایانی طرح در گستره استان گلستان برای طراحی لرزه‌ای معرفی شد. مقادیر پایانی شتاب طیف طرح در سطوح SL1 و SL2 به ترتیب مطابق با دوره بازگشت‌های ۴۷۵ و ۲۴۷۵ سال و برای هر ۴ سطح ناحیه لرزه‌ای در جدول‌های ۴ و ۵ آورده شده است.



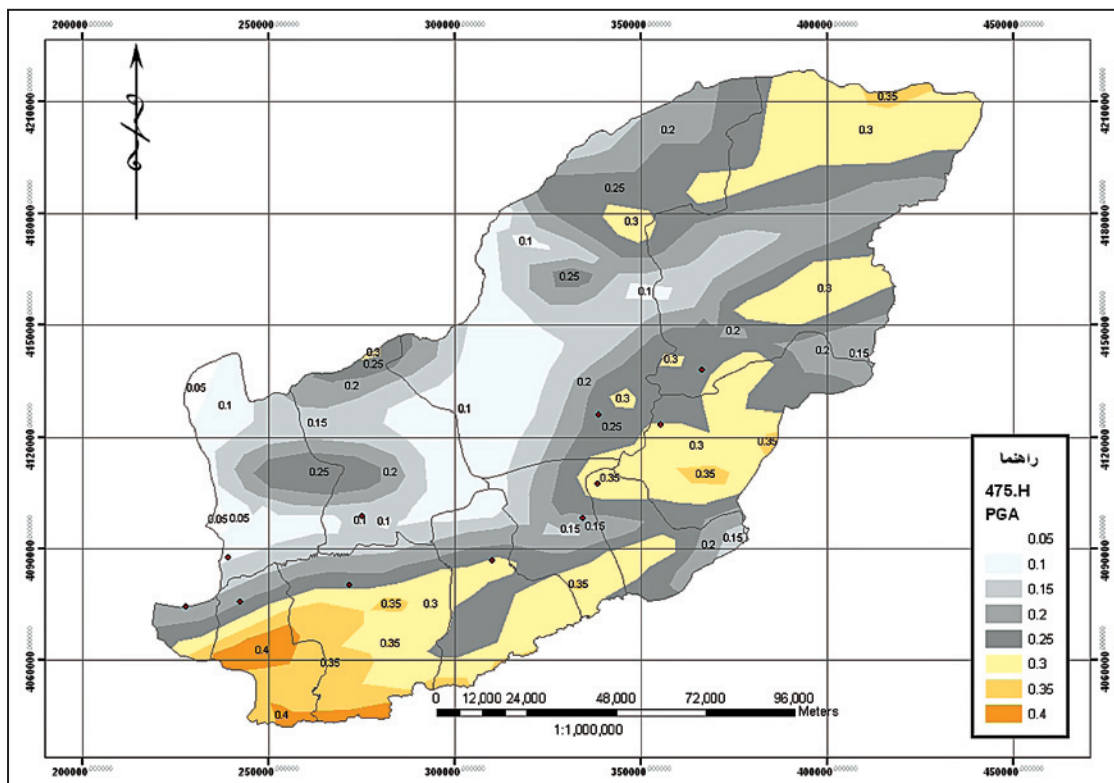
شکل ۲- شاخه‌ای از گسل تکل کوه در معدن شن و ماسه روستای عزیزآباد. در این محل به خوبی می‌توان مؤلفه په‌ن‌بندار (شیب‌لغز) گسل تکل کوه با جا به‌جایی به میزان بیشینه ۶۰ سانتی‌متر قابل شناسایی کرده است (نگاه به جنوب باختر).



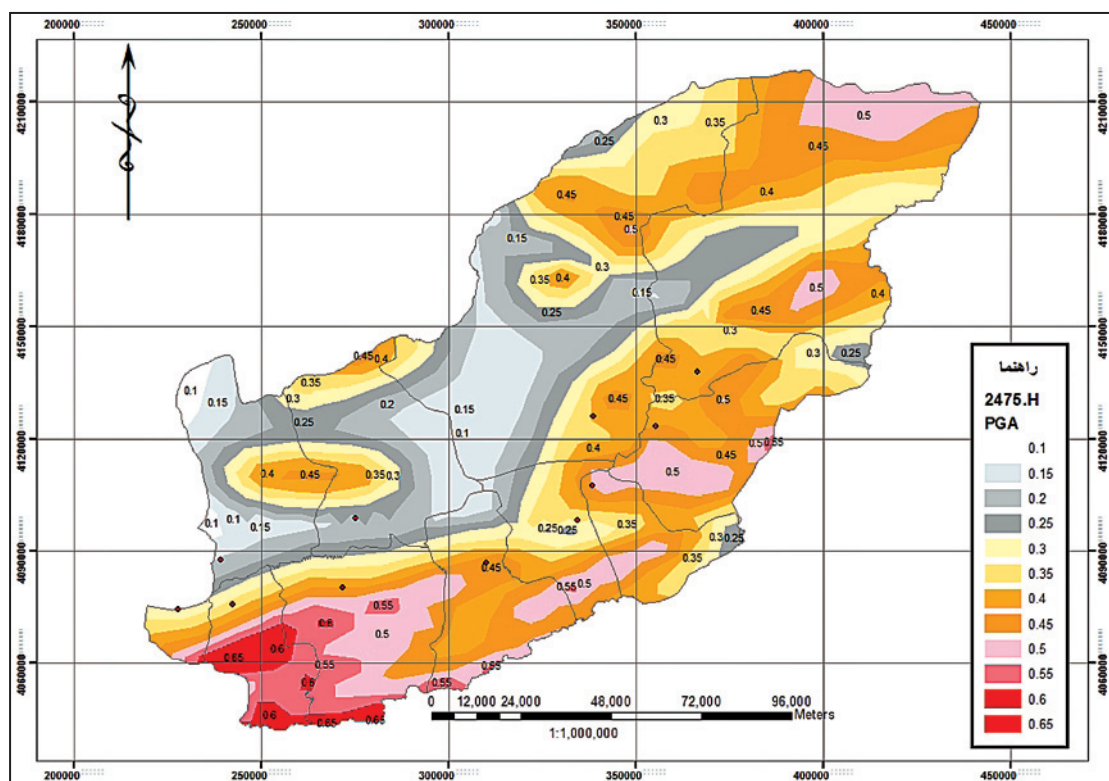
شکل ۱- ترانشه‌ای عمود بر امتداد پشته کم ارتفاع (شاخه گسل جدید خزر). در این ترانشه یک لایه قله سنگی دیده می‌شود که شیب ملایمی (۵ تا ۱۰ درجه) به سوی جنوب دارد این کج‌شدگی نهشته‌های جوان می‌تواند نشان‌دهنده حرکات تازه گسل باشد (نگاه به باختر)



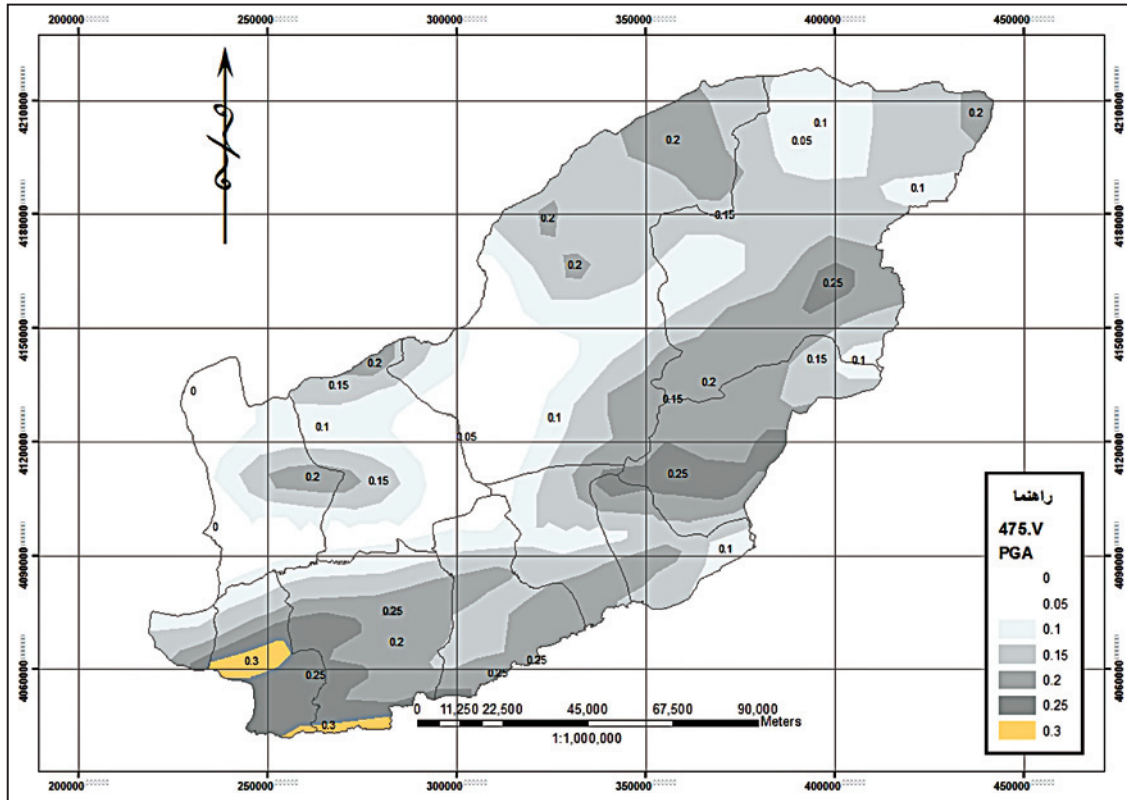
شکل ۳- نقشه لرزه‌زمین‌ساخت استان گلستان



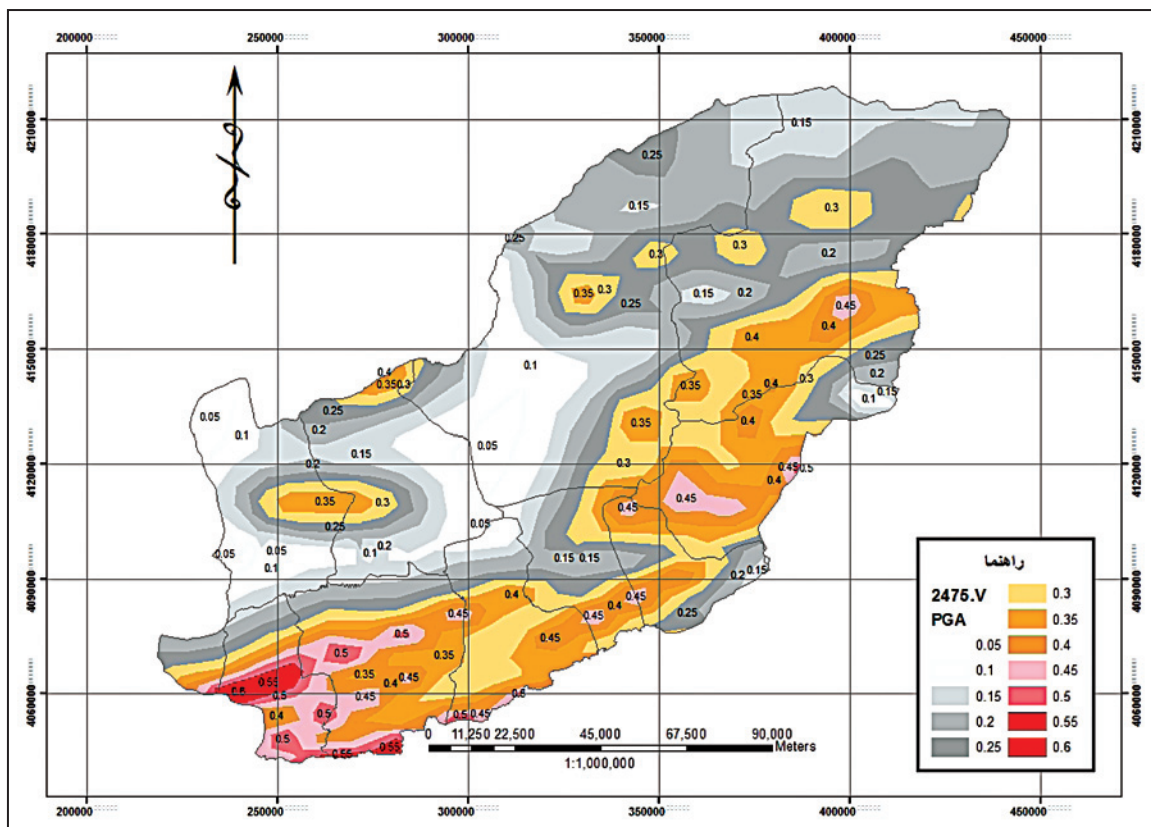
شکل ۴- خطوط هم تراز بیشینه مقادیر شتاب مؤلفه افقی برآمده از مدل چشمه‌های خطی- نواری لرزه‌زا بر پایه میانگین دو رابطه کاهیدگی مورد استفاده برای دوره بازگشت ۴۷۵ سال



شکل ۵- خطوط هم تراز بیشینه مقادیر شتاب مؤلفه افقی برآمده از مدل چشمه‌های خطی- نواری لرزه‌زا بر پایه میانگین دو رابطه کاهیدگی مورد استفاده برای دوره بازگشت ۲۴۷۵ سال

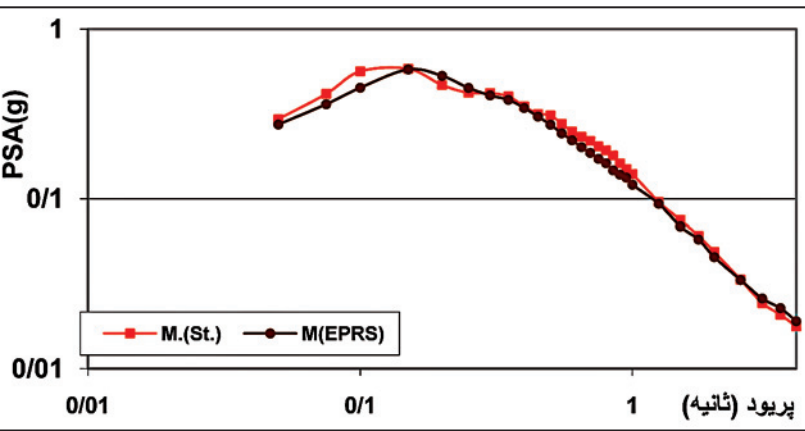
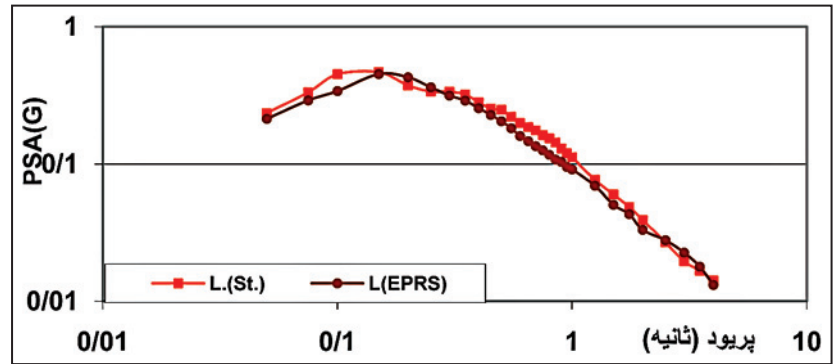


شکل ۶- خطوط هم‌تراز بیشینه مقادیر شتاب مؤلفه قائم برآمده از مدل چشمه‌های خطی- نواری لرزه‌زا بر پایه میانگین دو رابطه کاهیدگی مورد استفاده برای دوره بازگشت ۴۷۵ سال



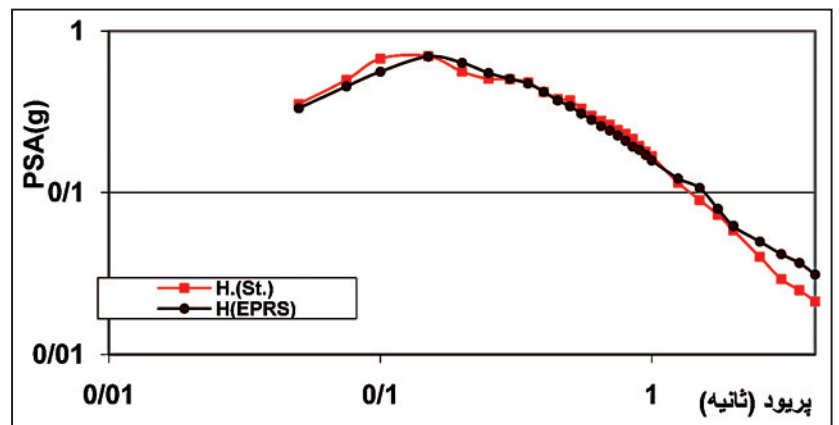
شکل ۷- خطوط هم‌تراز بیشینه مقادیر شتاب مؤلفه قائم برآمده از مدل چشمه‌های خطی- نواری لرزه‌زا بر پایه میانگین دو رابطه کاهیدگی مورد استفاده برای دوره بازگشت ۲۴۷۵ سال

شکل ۸- مقایسه طیف‌های مؤلفه افقی به دست آمده از روش آماری با طیف برآمده از روش احتمالی برای مناطق با خطر نسبی پایین و دوره بازگشت

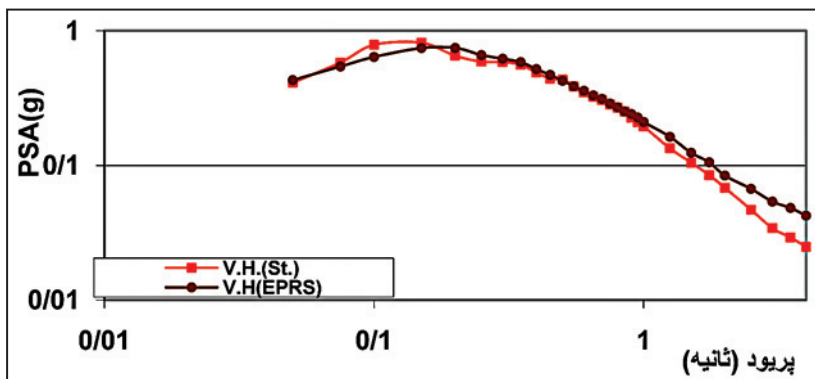


شکل ۹- مقایسه طیف‌های مؤلفه افقی به دست آمده از روش آماری با طیف برآمده از روش احتمالی برای مناطق با خطر نسبی متوسط و دوره بازگشت ۴۷۵ سال

شکل ۱۰- مقایسه طیف‌های مؤلفه افقی به دست آمده از روش آماری با طیف برآمده از روش احتمالی برای مناطق با خطر نسبی بالا و دوره بازگشت ۴۷۵ سال



شکل ۱۱- مقایسه طیف‌های مؤلفه افقی به دست آمده از روش آماری با طیف برآمده از روش احتمالی برای مناطق با خطر نسبی خیلی بالا و دوره بازگشت ۴۷۵ سال



جدول ۱ - خلاصه‌ای از گسل‌های مهم و فعال گستره مورد مطالعه

نام گسل	سازوکار گسل	زمین لرزه‌های نسبت داده شده	طول گسل (کیلومتر)	بیشینه توان لرزه‌ای Ms
گلیجه	گسل راستالغز چپ گرد	--	۷۰	۶/۹
دوزین	وارون با مؤلفه راستالغز چپ گرد	۳۰ اوت ۱۹۷۰ (mb ۵/۰) و ۲ مه ۱۹۷۷ (mb ۵/۱)	۶۰	۶/۸
گسل احتمالی گمیشان	وارون	۱۷ اکتبر ۲۰۰۴ میلادی (Ms ۵/۴) و ۱۰ ژانویه ۲۰۰۵ میلادی (Ms ۵/۱)	۴۰	۶/۶
خطواره اترک	--	۱۰ ژانویه ۲۰۰۵ با بزرگای Ms ۵/۱، ۲۹ نوامبر ۲۰۰۵ با بزرگای Ms ۴/۷، ۳۰ مارس ۲۰۰۳ با بزرگای Ms ۴/۷، ۱۹ نوامبر ۱۹۹۹ با بزرگای Ms ۵/۱، ۱۳ ژانویه ۱۹۸۸ با بزرگای mb ۴/۹، ۲ مارس ۱۹۷۸ با بزرگای mb ۴/۷، ۲ مه ۱۹۷۷ با بزرگای mb ۵/۱، ۱۵ اکتبر ۱۹۷۱ با بزرگای mb ۴/۷ و ۳۰ اوت ۱۹۷۰ با بزرگای mb ۵/۰	۳۵	۶/۵
گسل پی‌سنگی رباط قره‌بیل	راستالغز چپ گرد	زمین لرزه بزرگ ۹۴۳ میلادی اترک - نسا با بزرگای Ms ۷/۶ (Berberian, 1994) Ms ۷/۴ و (Ambrasey & Melville, 1982)	۸۰	۷/۳
نایبا	وارون با مؤلفه راستالغز چپ گرد	رویدادهای ۲ اوت ۱۹۷۳ میلادی (Ms ۴/۸)، (دو رویداد) و ۴ اوت ۱۹۷۳ (mb ۴/۵)، ۱۱ ژانویه ۱۹۸۲ (mb ۴/۶) و ۱۱ مارس ۱۹۸۸ (Ms ۴/۵) و ۲۳ سپتامبر ۱۹۵۸ (Ms ۴/۵)	۱۳۰	۷/۲
سیاه‌کوه	وارون	---	۸۰	۷
سقا	وارون	--	۷۰	۶/۹
جاجرم	--	زمین لرزه ۲۸ آوریل ۱۸۸۳ میلادی گرمره با بزرگای Ms ۵/۸	۶۰	
خزر	وارون	زمین لرزه ۱۲ نوامبر ۸۷۴ میلادی گرگان با بزرگای Ms ۶/۰ و همچنین رویداد ۱۴۹۸ میلادی گرگان با بزرگای Ms ۶/۵	>۱۵۰	۷/۴
تکل کوه (آشخانه)	وارون	زمین لرزه‌های ۳۰ ژوئیه ۱۹۷۰ قرناوه (مراوه تپه) با بزرگای Ms ۶/۶ در نزدیکی اثر سطحی این گسل و ۷ مارس ۱۹۷۴ با بزرگای Ms ۵/۰	>۱۲۰	۷/۲
مراوه تپه	وارون	۱۸۱۰ میلادی با بزرگای Ms ۶/۵	>۲۶۰	۷/۳

جدول ۲- بزرگ‌ترین زمین‌لرزه‌های روی داده در گستره مورد مطالعه

ردیف	تاریخ رویداد	بزرگای (Ms)	گسل مسبب
۱	۱۲ نوامبر ۸۷۴ گرگان	۶/۰	خزر (مینو دشت)
۲	۱۴۳۶ گرگان	۵/۳	خزر (مینو دشت)
۳	۱۴۷۰ گرگان	۵/۵	خزر (مینو دشت)
۴	۱۴۹۸ گرگان	۶/۵	خزر (مینو دشت)
۵	۳۰ ژوئیه ۱۹۷۰ قرناوه (مراوه تپه)	۶/۶	پاره باختری تکل کوه
۶	۷ مارس ۱۹۷۴	۵/۰	پاره باختری تکل کوه
۷	۲۹ اکتبر ۱۹۸۵	۶/۰	علی آباد
۸	۱۹ نوامبر ۱۹۹۹	۵/۱	اترک یا گمیشان (?)
۹	۷ اکتبر ۲۰۰۴ شمال گرگان (آق قلا)	۵/۴	گمیشان (?)
۱۰	۱۰ ژانویه ۲۰۰۵ شمال گرگان (آق قلا)	۵/۱	گمیشان (?)

جدول ۳- متغیرهای لرزه‌خیزی محاسبه شده بر پایه روش دو کراندار ایشر-گوتنبرگ در گستره طرح و استان‌های لرزه زمین‌ساخت دربرگیرنده محدوده طرح مورد مطالعه

محدوده مورد مطالعه	Seismicity Parameter	
	β	λM_4
زلزله‌های سده بیستم گستره طرح	$2/68 \pm 0/12$	۱/۶۴
همه زمین‌لرزه‌ها	$3/43 \pm 0/09$	۱/۵۳

جدول ۴- مقادیر طیف طراحی پیشنهادی مؤلفه‌های افقی و قائم منبسط سنگ بستر لرزه‌زای و برای سطح طراحی لرزه‌زای با دوره بازگشت ۳۷۵ سال در مناطق با لرزه‌خیزی متفاوت در استان گلستان

Response Spectra									
H. Component					V. Component				
Sec	Low	Moderate	High	Very High	Low	Moderate	High	Very High	Very High
0.05	0.352926	0.447039	0.529389	0.611738	0.342734	0.41128	0.479827	0.548374	
0.075	0.498211	0.631067	0.747316	0.863565	0.460381	0.552457	0.644534	0.73661	
0.1	0.675673	0.855853	1.01351	1.171167	0.492673	0.591208	0.689743	0.788277	
0.15	0.699956	0.886611	1.049935	1.213258	0.449955	0.539946	0.629937	0.719928	
0.2	0.561056	0.71067	0.841583	0.972496	0.42214	0.506568	0.590996	0.675424	
0.25	0.506188	0.641171	0.759281	0.877392	0.379414	0.455297	0.531179	0.607062	
0.3	0.503512	0.637782	0.755268	0.872754	0.362662	0.435194	0.507727	0.580259	
0.35	0.480332	0.608421	0.720498	0.832576	0.292036	0.350443	0.40885	0.467257	
0.4	0.421021	0.533293	0.631531	0.729769	0.237297	0.284756	0.332216	0.379675	
0.45	0.379143	0.480248	0.568714	0.657181	0.205153	0.246184	0.287214	0.328245	
0.5	0.372576	0.47193	0.558864	0.645799	0.183869	0.220642	0.257416	0.29419	
0.55	0.33128	0.419621	0.49692	0.574218	0.178645	0.214374	0.250103	0.288532	
0.6	0.298579	0.3782	0.447868	0.517537	0.163803	0.196563	0.229324	0.262085	
0.65	0.278512	0.352781	0.417767	0.482753	0.140565	0.168678	0.196791	0.222904	
0.7	0.263183	0.333365	0.394775	0.456184	0.132508	0.15901	0.185512	0.212013	
0.75	0.243989	0.309053	0.365984	0.422914	0.129028	0.154834	0.18064	0.206445	
0.8	0.230946	0.292532	0.346419	0.400306	0.12707	0.152484	0.177898	0.203312	
0.85	0.215265	0.272669	0.322898	0.373126	0.122176	0.146612	0.171047	0.195482	
0.9	0.193951	0.245671	0.290927	0.336182	0.114339	0.137207	0.160075	0.182943	
0.95	0.179496	0.227362	0.269244	0.311127	0.107512	0.129015	0.150517	0.17202	
1	0.167585	0.212275	0.251378	0.290481	0.10263	0.123156	0.143682	0.164209	
1.25	0.115012	0.145682	0.172519	0.199355	0.090124	0.108149	0.126174	0.144198	
1.5	0.089933	0.113915	0.134899	0.155884	0.069714	0.083657	0.0976	0.111543	
1.75	0.072748	0.092148	0.109123	0.126097	0.058884	0.070661	0.082438	0.094215	
2	0.058628	0.074262	0.087942	0.101621	0.050543	0.060651	0.07076	0.080869	
2.5	0.040261	0.050998	0.060392	0.069786	0.03373	0.040476	0.047222	0.053968	
3	0.029329	0.037151	0.043994	0.050838	0.02609	0.031309	0.036527	0.041745	
3.5	0.025026	0.0317	0.03754	0.043379	0.0222935	0.027522	0.032109	0.036696	
4	0.021331	0.027019	0.031997	0.036974	0.01844	0.022128	0.025817	0.029505	

جدول ۵- مقادیر طیف طراحی پیشنهادی مؤلفه‌های افقی و قائم منبسط سنگ بستر لرزه‌زای و برای سطح طراحی لرزه‌زای با دوره بازگشت ۳۷۵ سال در مناطق با لرزه‌خیزی متفاوت در استان گلستان

Response Spectra									
H. Component					V. Component				
Sec	Low	Moderate	High	Very High	Low	Moderate	High	Very High	Very High
0.05	0.235284	0.294105	0.352926	0.411747	0.223059	0.274187	0.329024	0.370152	
0.075	0.33214	0.415176	0.498211	0.581246	0.313059	0.368305	0.441966	0.497212	
0.1	0.450449	0.563061	0.675673	0.788286	0.335018	0.394139	0.472966	0.532087	
0.15	0.466638	0.583297	0.699956	0.816616	0.305969	0.359964	0.431957	0.485951	
0.2	0.374037	0.467546	0.561056	0.654565	0.287055	0.337712	0.405254	0.455911	
0.25	0.337458	0.421823	0.506188	0.590552	0.258001	0.303531	0.364237	0.409767	
0.3	0.335675	0.419593	0.503512	0.587431	0.24661	0.29013	0.348155	0.391675	
0.35	0.320221	0.400277	0.480332	0.560387	0.198584	0.233629	0.280354	0.315399	
0.4	0.28068	0.350851	0.421021	0.491191	0.161362	0.189837	0.227805	0.256281	
0.45	0.252762	0.315952	0.379143	0.442333	0.139504	0.164123	0.196947	0.221565	
0.5	0.248384	0.31048	0.372576	0.434672	0.125031	0.147095	0.176514	0.198578	
0.55	0.220853	0.276066	0.33128	0.386493	0.121479	0.142916	0.171499	0.192937	
0.6	0.199053	0.248816	0.298579	0.348342	0.111386	0.131042	0.157251	0.176907	
0.65	0.185674	0.232093	0.278512	0.32493	0.095584	0.112452	0.134943	0.15181	
0.7	0.175456	0.219319	0.263183	0.307047	0.090106	0.106007	0.127208	0.143109	
0.75	0.162659	0.203324	0.243989	0.284654	0.087739	0.103223	0.123867	0.139351	
0.8	0.153964	0.192455	0.230946	0.269437	0.086408	0.101656	0.121987	0.137236	
0.85	0.14351	0.179388	0.215265	0.251143	0.08308	0.097741	0.117289	0.13195	
0.9	0.129301	0.161626	0.193951	0.226276	0.077751	0.091471	0.109766	0.123486	
0.95	0.119664	0.14958	0.179496	0.209412	0.073108	0.08601	0.103212	0.116113	
1	0.111723	0.139654	0.167585	0.195516	0.069789	0.082104	0.098525	0.110841	
1.25	0.076675	0.095844	0.115012	0.134181	0.061284	0.072099	0.088519	0.097334	
1.5	0.059955	0.074944	0.089933	0.104922	0.047406	0.055772	0.066926	0.075292	
1.75	0.048499	0.060624	0.072748	0.084873	0.040041	0.047108	0.056529	0.063595	
2	0.039085	0.048856	0.058628	0.068399	0.034369	0.040434	0.048521	0.054586	
2.5	0.026841	0.0333551	0.040261	0.046971	0.022937	0.026984	0.032381	0.036429	
3	0.019553	0.024441	0.029329	0.034218	0.017742	0.020872	0.025047	0.028178	
3.5	0.016684	0.020855	0.025026	0.029198	0.015596	0.018348	0.022017	0.02477	
4	0.014221	0.017776	0.021331	0.024886	0.012539	0.014752	0.017703	0.019916	

کتابنگاری

- حسن نبوی، ۱۳۵۵- دیباچه‌ای بر زمین‌شناسی ایران، سازمان زمین‌شناسی ایران.
- شرکت مهندسی مشاور صحرا کاو، ۱۳۷۷- مطالعات لرزه‌خیزی، لرزه‌زمین ساخت و پهنه‌بندی لرزه‌ای چهارگوش گرگان.
- شرکت مهندسی مشاور صحرا کاو، ۱۳۸۸الف- مطالعات لرزه‌خیزی، لرزه‌زمین ساخت و پهنه‌بندی لرزه‌ای چهارگوش کوه کورخرد.
- شرکت مهندسی مشاور صحرا کاو، ۱۳۸۸ب- مطالعات لرزه‌خیزی، لرزه‌زمین ساخت و پهنه‌بندی لرزه‌ای چهارگوش گنبد.
- شرکت مهندسی مشاور صحرا کاو، ۱۳۹۰- مطالعات لرزه‌خیزی، لرزه‌زمین ساخت و پهنه‌بندی لرزه‌ای استان گلستان.
- مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، ۱۳۷۸- "آیین‌نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله، استاندارد ۲۸۰۰"، وزارت مسکن و شهرسازی، شماره نشریه ص-۲۵۳.

References

- Ambraseys, N. N. & Melville, C. P., 1982- "A History of Persian Earthquakes", Cambridge University Press.
- Ambraseys, N. N., Douglas, J., Sarma, S. K. & Smit, P. M., 2005- "Equations for the Estimation of Strong Ground Motions from Shallow Crustal Earthquakes Using Data from Europe and the Middle East: Vertical Peak Ground Acceleration and Spectral Acceleration", *Bulletin of Earthquake Engineering* (2005) 3 55-73.
- Ambrasys, N. N. & Jackson, J., 1998- Faulting associated with historical and recent earthquakes in the Eastern Mediterranean region; Vol.133 *Geophysical Journal*.
- Bender, B. & Perkins, D. M., 1987- "SEISRISK III, A Computer Program for Seismic Hazard Estimation", US Geological Survey, *Bulletin* 1772.
- Berberian, M., 1976a - "Contribution to the Siesmotectonics of Iran (Part II)", *Geol. Surv. Iran, Rep. No. 39*, 516.
- Berberian, M., 1976b - "Contribution to the Siesmotectonics of Iran (Part IV)", *Geol. Surv. Iran, Rep. No. 40*.
- Berberian, M., 1994- "Natural Hazards and the First Earthquake Catalogue of Iran, Vol. 1, Historical Hazard in Iran Prior to 1900", A UNESCO/ IIEES publication during UN/IDNDR: International Institute of Earthquake Engineering and Seismology, Tehran, 603 (in English) + 66.
- Campbell, K. W. & Bozorgnia, Y., 2003- "Updated Near-Source Ground Motion (Attenuation) Relations for the Horizontal and Vertical Components of Peak Ground Acceleration and Acceleration Response Spectra", *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol. 93, No. 1, Feb. 2003.
- Cornell, C. A., 1968- "Engineering Seismic Risk Analysis", *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol. 58, No. 5, pp. 1583-1606.
- Gutenberg, B. & Richter, C. F., 1956- "Earthquake Magnitude, Intensity, Energy and Acceleration" *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol. 46, No.2, pp 105-145.
- ICOLD, International Commission on Large Dams, 1989- "Selecting Seismic Parameters for Large Dams, Guidelines", *Bull.* 72.
- Jackson, J. & Fitch, T. J., 1979- "Seismotectonic Implications of Relocated Aftershock Sequences in Iran and Turkey", *Geophys. J.R. astr. Soc.*, 57,P. 209-229.
- Jackson, J. & Talebian, M., 2002- Offset on the main Recent Fault of NW Iran and implications for the late Cenozoic tectonics of the Arabia-Eurasia collision zone. *Geophysical Journal International* , 150, 422-439.
- Kijko, A. & Sellevoll, M. A., 1992- "Estimation of Earthquake Hazard Parameters from Incomplete Data Files. Part II. Incorporation of Magnitude Heterogeneity", *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol. 82, No. 1, pp. 120-134.
- Kijko, A., 2005- "HN2 program (ver. 2.1): Seismic Hazard Assessment from Incomplete and Uncertain Data", Council for Geo-science, Geological Survey of South Africa.
- Nowroozi, A. A., 1985- "Empirical Relations between Magnitudes and Fault Parameters for Earthquakes in Iran", *B.S.S.A.*, Vol.75, No. 5, 1327-1338.
- USAEC (United States Atomic Energy Commissions). 1973- "Nuclear Regulatory Guide", 160, 10 CFR 100, Appendix A, Reactor Siting Criteria.
- Wells, D. L. & Coppersmith, K. J., 1994- "New Empirical Relationships among Magnitude, Rupture Length, Rupture Width, Rupture Area and Surface Displacement", *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol. 84, No. 4, pp. 974-1002.