

لرزه زمین ساخت و برآورد خطر زمین لرزه ساختگاه سد خرسان ۵-۱

محسن پورکرمانی^۱، احمد ادیب^۲، ناصر احمدی کمیجانی^۳، اعظم لباف خانیکی^۴

۱- استاد دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران شمال

۲- استادیار دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران جنوب

۳- کارشناس ارشد زمین شناسی، مهندسین مشاورمشانیر

۴- دانش آموخته کارشناسی ارشد زمین شناسی تکنونیک، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران شمال

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۰/۲/۸ تاریخ تصویب: ۱۳۹۰/۶/۲۷

چکیده

سد خرسان ۵-۱، در محدوده استان چهارمحال و بختیاری و در ۴۵ کیلومتری غرب شهر لردگان قرار دارد که در آن، زمین لرزه های روی داده از نوع کم عمق و دارای ژرفای کانونی کمتر از ۱۵ کیلومتر و اغلب فاقد گسیختگی سطحی هستند. در این تحقیق تحلیل خطر زلزله ناحیه بر اساس پراکنش و نوع گسل ها، ریخت شناسی گسل ها و داده های زمین لرزه های گذشته محاسبه شده است. گسل های بازفت و مسن با طول های ۴۵ و ۳۶ کیلومتر، به عنوان نزدیک ترین گسل ها به ساختگاه، در صورت فعالیت، توانایی تولید زمین لرزه های به ترتیب با بزرگای ۷/۰ و ۶/۹ ریشتر را دارند. نتیجه ارزیابی خطر زمین لرزه به روش تعیین نشان می دهد، این گسل ها در صورت جنبش، توانایی تولید بیشینه شتاب افقی به ترتیب ۰/۲۶۹g و ۰/۲۲۲g را در ساختگاه دارند. با توجه به تحلیل احتمالاتی خطر زلزله در گستره طرح برای دوره های بازگشت ۱۵۰، ۴۷۵ و ۲۰۰۰ سال و بر اساس روش Bender & Perkins (1987) و با استفاده از نرم افزار (Seisrisk III) شتابی برابر ۰/۲۶۱g، ۰/۲۹۱g و ۰/۳۱۰g برای مرکز ناحیه برآورد می گردد.

واژگان کلیدی: زمین لرزه، تحلیل خطر، بیشینه جنبش نیرومند زمین، سد خرسان ۵-۱

مقدمه

مطالعه و دوره بازگشتی که در آن پارامترهای جنبش نیرومند زمین محاسبه می شود تعیین می گردد [۴]. برای به دست آوردن این دو مفهوم ناحیه مورد مطالعه ابتدا در گستره ای به شعاع ۱۵۰ کیلومتر از محل ساختگاه سد خرسان ۵-۱، چشمه های لرزه ای مورد شناسایی و بررسی قرار گرفته است. ریخت شناسی گسل ها و سازوکار زمین لرزه های واقع در گستره طرح و الگوهای زمین ساختی شواهدی هستند که در رسیدن

زمین لرزه، بازتاب یک رویداد زمین شناختی است که در روی زمین به صورت تکان دریافت می شود. نماد این پدیده، انرژی ارتعاشی است که به شکل موج لرزه ای انتشار می یابد. بازتاب این رویداد زمین شناختی خطر آفرین است. این خطر در دو مفهوم خطر لرزه ای و خطر پذیری لرزه ای به کار گرفته می شود [۳]. این مطالعات برای سازه های مهندسی و بزرگ حائز اهمیت بوده و با توجه به درجه اهمیت سازه شعاع مورد

- جمع آوری اطلاعات پایه ای مشتمل بر گزارش ها و نقشه های زمین شناسی ساختمانی، داده های ماهواره ای و عکس های هوایی
- تهیه نقشه لرزه زمین ساخت ناحیه و تعیین نقایص موجود
- برداشت ساختارها و ارائه الگوی لرزه زمین ساختی برای ناحیه
- تعیین چشمه های لرزه ای پیرامون ساختگاه
- محاسبه عوامل مؤثر بر جنبش نیرومند زمین با استفاده از تحلیل خطر لرزه ای به روش تعیینی
- جمع آوری زمین لرزه های تاریخی و دستگامی در گستره ساختگاه
- محاسبه عوامل مؤثر بر جنبش نیرومند زمین با استفاده از روش کیکو- گراهام - سلوول

بحث

جایگاه زمین شناسی و لرزه زمین ساخت گستره
تشخیص چشمه های لرزه ای نیاز به اطلاعات دقیقی از زمین شناسی ساختمانی، لرزه خیزی و زمین ساخت منطقه ای دارد. براساس مکان و طبیعت وقوع زمین لرزه ها در ناحیه و در تقابل با پدیده های زمین ساختی، استان لرزه زمین ساختی خاص مشخص می گردد [23]. از نظر نوزمین ساخت، در زاگرس چین خورده، دگرشکلی ها، هم راستای ساختارها و شکستگی های آلیپی (شمال غرب - جنوب شرق)، و پیش از آلیپی (شمالی - جنوبی) هستند. از این رو عملکرد مشترک این دو بر روی هم، باعث برآیند نوزمین ساختی و لرزه زمین ساختی و در نتیجه لرزه خیزی کنونی زاگرس می شود [۲].

به مدل لرزه زمین ساختی گستره پیرامون ساختگاه را امکان پذیر نموده اند. پارامترهای لرزه خیزی این گستره، در قالب مدل لرزه زمین ساختی انتخابی از چشمه های لرزه زا، محاسبه شده است. آن گاه با گزینش رابطه های کاهیدگی مناسب [11,23,26] برآورد خطر لرزه ای به کمک روش های گوناگون با اعتماد پذیری بالا با این نیت انجام شده است که به پرسش های درستی که طراحان سازه به هر شکل در این زمینه مطرح می نمایند، پاسخ داده شده باشد. محدوده ساختگاه در استان چهارمحال و بختیاری و در ۴۵ کیلومتری غرب شهر لردگان قرار دارد (شکل ۱).

روش تحقیق

اساس تحلیل خطر زلزله، مدل سازی مکانیزم شکست در محل وقوع زلزله و ارزیابی انتشار امواج در سنگ بستر لرزه ای و در نهایت تأثیر آن بر روی سطح زمین است. در این تحقیق، الگوی هندسی گسل ها و نحوه دگرریختی واحدهای کواترنریسین و آثار جنبایی گسل بر روی آنها تحلیل شده و سازوکار گسل ها و تأثیر نیروهای جنبی بر ساختارها، به ویژه (گسل دنا)، گسل مسیب زلزله سال ۱۳۱۳ یا سوج با بزرگی ۶/۴ مورد کنکاش قرار می گیرد. برای رسیدن به اهداف تحقیق که شامل:

- ۱- مطالعه لرزه زمین ساخت و تعیین چشمه های لرزه ای پیرامون ساختگاه
- ۲- تعیین تأثیر لرزه خیزی چشمه های لرزه ای بر ساختگاه و در نهایت تعیین جنبش نیرومند زمین در محل ساختگاه می باشد، براساس الگوی زیر این تحقیق انجام گرفت:

و در نتیجه گسلش غالباً با بزرگای ۶ و کمتر به روی زمین نمی‌رسد [13,14].

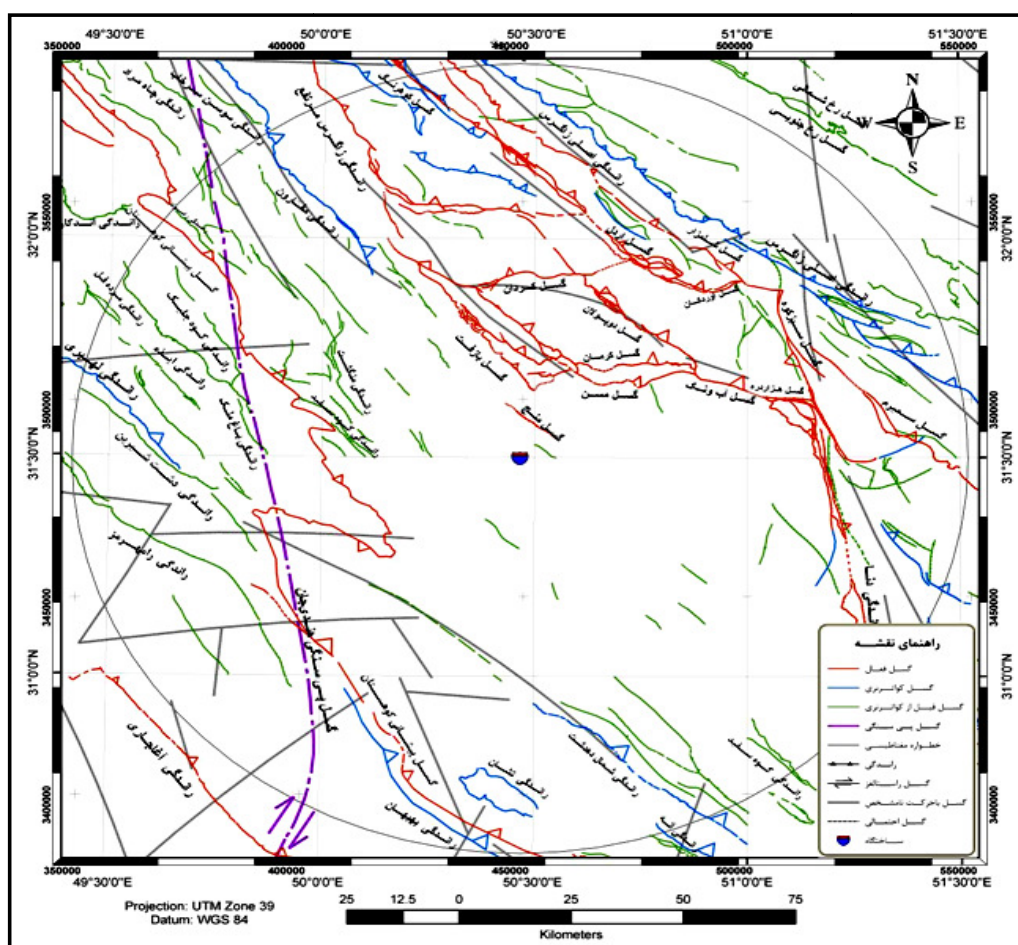
پراکندگی داده‌های لرزه‌ای، عدم ارتباط مناسب بین رومرکز زمین‌لرزه‌ها و گسل‌های موجود، ناهمبستگی کانون و صفحه گسلی قابل مشاهده در سطح زمین جذب و کاهش تغییر شکل‌های ناشی از زمین‌لرزه توسط سازندهای گچی و نمکی در زاگرس، وجود گسل‌های برکشیده از پی‌سنگ پرکامبرین که تا زیر چین‌ها و ساختمان‌های دکولمان ادامه دارند، و گسل‌های مدفون همگی حاکی از ناهم‌خوانی کامل بین لرزه‌خیزی و سیمای زمین‌ساختی در زاگرس و منطقه مورد مطالعه دارد است [14].

راندگی‌های پنهان و گسل‌های اصلی با رخنمون سطحی از منابع اصلی ایجاد زلزله هستند که نقش تعیین‌کننده‌ای در زمین‌ساخت منطقه دارند [13].

از جمله این گسل‌ها می‌توان به گسل‌های جوان زاگرس زاگرس مرتفع، جبهه کوهستان زاگرس و دنا اشاره نمود.

رژیم غالب گسلی در ناحیه به دو صورت گسل‌های راندگی و گسل‌های معکوس با شیب زیاد ظاهر شده‌اند، علاوه بر این، تعدادی گسل فرعی با سازوکار راستالغز نیز رخنمون دارند [13].

در این ناحیه جنبش گسل‌های لرزه‌زا در ژرفا (بیش از ۱۰ کیلومتر) به وسیله لایه‌های شکل‌پذیر جذب می‌شود



شکل ۱- موقعیت ساختگای سد خرسان ۱-۵ و پراکندگی گسل‌های فعال و کوآترنری پیرامون محور سد (بین روستای قلعه مدرسه و منج) [۵]

ساختگاه سد را می‌سازد. جنس سازندهای این کوه، آهک‌های توده‌ای آسماری است که در برخی جاها رخنمون‌های سازند جهرم نیز دیده می‌شود. کوه شاه‌نشین، کوه سردوخون، کوه چهارتاق، ناودیس یا دره بردپهن از دیگر ساختارهای ناحیه هستند [۸].

ساختگاه مورد مطالعه در کناره شمال خاوری رودخانه خرسان بر روی بخشی از تاقدیس شورم که بیشتر آهک آسماری و گچساران رخنمون دارد، جانمایی شده است. گمان می‌رود رودخانه خرسان درون یک دره گسلی روان است [۸]. رد دو گسل درون دره رودخانه دیده می‌شود که یکی بر روی تکیه‌گاه چپ رودخانه و دیگری از روی تکیه‌گاه راست به سوی درون دره و تکیه‌گاه چپ کشیده شده و دوباره دنباله آن در تکیه‌گاه راست دیده می‌شود. همچنین گسل‌های کوتاهی در راستای شمال-خاور جنوب باختر این دره گسلی را قطع می‌نمایند. گسل‌های نشان داده شده به گمان زیاد فعال نیستند با این وجود مطالعه لرزه زمین‌ساختی تعیین کننده خواهد بود.

نزدیک‌ترین گسل (گسل بازفت) به ساختگاه، دارای روند شمال باختر - جنوب خاور می‌باشد که ساز و کار راندگی با مولفه راستالغز راستگرد دارا می‌باشد. از دیدگاه زمین‌شناسی ساختمانی ساختگاه بر روی یال شمالی یک تاقدیس هم روند با چین خوردگی اصلی زاگرس شمال باختر - جنوب خاور می‌باشد. گزینه یاد شده در نزدیکی زاویه میل شمال باختری این تاقدیس می‌باشد، به گونه‌ای که از ساختگاه سد به سوی شمال باختر، شیب و راستای لایه‌ها، نشانه‌ای از زاویه میل را در تاقدیس نمایان می‌سازد [۸]. همچنین بازدیدهای انجام گرفته از ساختگاه و پیرامون آن وجود دسته درزه‌هایی را نیز نشان می‌دهد که به دنبال وارد

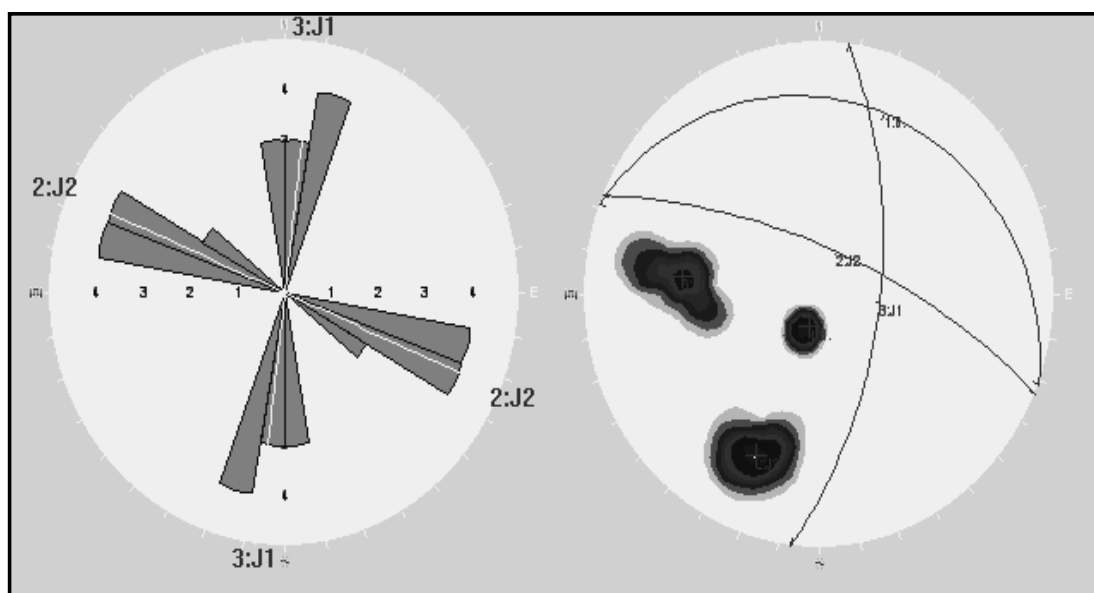
بر اساس مطالعات انجام شده در زاگرس، سطوح قرارگیری کانون زمین‌لرزه‌ها عموماً به موازات گسل‌های دارای رخنمون سطحی، ولی بدون آثار و شواهد لرزه‌ای آشکار می‌باشند [23]. عمق کانونی زمین‌لرزه‌ها نیز بین ۱۰ تا ۲۰ کیلومتر است. بنابراین چه به اختصار بیان گردید، سرچشمه‌های فعال لرزه‌ای منطقه به صورت چشمه‌های خطی در زیر پوشش رسوبی، در اعماق حدود ۱۰ تا ۲۰ کیلومتری از سطح زمین قرار داشته و به دلیل نداشتن شواهد آشکار در سطح، مکان هندسی آن‌ها به خوبی مشخص نمی‌باشد. پس، علاوه بر وجود چشمه‌های خطی در سطح، به ناچار باید چشمه‌های نامشخص ناحیه‌ای را نیز پذیرفت. اغلب زمین‌لرزه‌ها بزرگی کمتر از ۷ داشته و کم عمق هستند. عمق کانونی عمده زمین‌لرزه‌ها در زاگرس نشان می‌دهد که، اعماق ۸ تا ۱۲ کیلومتر را به عنوان لایه لرزه‌زا، می‌توان در نظر گرفت [14].

حل صفحه گسل و عمق کانون زلزله‌ها در زاگرس با استفاده از امواج بلند دوره (wwssn) و تمام سازوکار زلزله‌ها نشان‌دهنده لغزش در امتداد سطح جدایش پرشیب (40° - 50°) در زاگرس است، براین مبنا اگر حرکتی در بین پی سنگ دگرگون شده و پوشش رسوبی بالایی (که بر روی نمک هرمز واقع شده است) رخ دهد، می‌توان پیش بینی نمود که حرکت مذکور غیرلرزه‌ای خواهد بود [14].

گزینه پیشنهادی برای ساختگاه در گستره زاگرس میانی واقع شده است و بیشتر با ساخت‌های تاقدیسی و ناودیسی مرکب، نمود پیدا کرده است [۸]. از این‌رو دشت‌های گسترده و کوه‌های فشرده، از ویژگی‌های این بخش از زاگرس می‌باشد که در دره‌های کم پهنا و V شکل آن است. ساختار مهم زمین‌ریخت‌شناسی این پهنه کوه ریگ است، این کوه، بلندی‌های خاوری

و نمودار گل سرخی آورده شده در شکل ۲ نشان دهنده راستای نماینده درزه‌ها و سازوکار نیروهای وارد آمده در ساختگاه می‌باشد.

آمدن نیروهای زمین ساختی، بر روی لایه‌های سنگی پدید آمده است. اندازه‌گیری و برداشت‌ها نشان از توانایی گروه‌بندی درزه‌ها در دو دسته را می‌دهد که در اینجا با نام های J1 و J2 نامگذاری شده‌اند. استریوگرام



شکل ۲- استریوگرام و نمودار گل سرخی ناپیوستگی‌ها، دو دسته درزه J1 و J2 و لایه‌بندی که با B نشان داده شده است

می‌تواند پایه‌ای برای بررسی‌های لرزه‌زمین ساختی در محدوده باشد. در شکل ۱ پراکندگی گسل‌های فعال و کوآترنری پیرامون ساختگای سد ارائه شده است.

تعیین زمین لرزه کنترل‌گر

برای تاسیسات حیاتی مانند سدها و ساختمان‌های بلند، زمین لرزه کنترل‌گر به طور معمول به صورت بیشینه بزرگای زمین لرزه‌ای که چشمه قادر به تولید آن است تعریف می‌شود [22,25].

مدل لرزه زمین ساخت گستره طرح

چندین مدل لرزه‌زمین ساختی برای ایران ارائه شده است، در این پژوهش از مدل توکلی و همکاران (۱۳۷۸) که در آن کشور به ۲۰ استان لرزه‌زمین ساختی تفکیک گردیده، استفاده شده است، در مدل مذکور ساختگاه سد و پیرامون آن در استان‌های ۱۱ و ۱۲ این تقسیم‌بندی (کمر بند زاگرس مرتفع و زاگرس چین خورده)، قرار گرفته و بیشترین تأثیر را از استان لرزه‌زمین ساختی کمر بند چین خورده می‌گیرد [22,25]. در جدول ۱ پارامترهای لرزه‌خیزی ایالات لرزه زمین ساختی گستره ارائه شده است. مطالعه گسل‌های فعال

$$M = a + b \cdot \log L \quad (1)$$

بر پایه روابط تجربی Mohaj Ashjai & Noruzi (1978) (1985) Noruzi (1982) & Ambraseys و Melville (1994) و Coppersmith & Wells مقادیر بیشینه بزرگی محاسبه و در جدول ۲ ارائه می شود [11,23,26,27] در جدول، منظور از L.R طول گسیختگی گسل، T.L طول گسل می باشد.

در این بررسی، تخمین بزرگای زمین لرزه ها بر پایه طول گسیختگی (L) یا به عبارت ساده تر طول بخشی از گسل که در یک زمین لرزه دچار لغزش می گردد صورت گرفته است. بیشینه بزرگای زمین لرزه ای که چشمه قادر به تولید آن است، برابر با $7/4$ (MCE) می باشد (جدول ۲).

در روش تعیینی برای تخمین بیشینه بزرگای زمین لرزه از طول گسیختگی گسل استفاده می شود [۱۰].

جدول ۲- مشخصات گسل های فعال و کواترنری پیرامون ساختگاه سد خرسان و بزرگی متناسب به گسل ها

ردیف	نام گسل	طول گسل (KM)	طول گسیختگی (Km)	بیشترین بزرگای ناشی از حرکت احتمالی گسل در محل سد			
				۱	۲	۳	۴
۱	آغاجاری	۱۵۰	۷۰	۷/۲	۷/۳	۷/۳	۷/۲
۲	اردل	۱۰۰	۷۶	۷/۳	۷/۳	۷/۳	۷/۳
۳	اندیکا	۶۰	۵۲	۷/۱	۷/۱	۷/۱	۷/۱
۴	بهبهان	۹۰<	۷۰	۷/۲	۷/۳	۷/۳	۷/۲
۵	بازفت	۴۵	۴۰	۷	۶/۹	۷	۶/۹
۶	دشت شیر	۶۰	۵۲	۷/۱	۷/۱	۷/۱	۷/۱
۷	داران	۱۴۰	۹۰	۷/۴	۷/۴	۷/۴	۷/۴
۸	دهنو	۳۴	۳۱	۶/۹	۶/۸	۶/۸	۶/۸
۹	دنا	۲۰۰	۱۰۰	۷/۴	۷/۵	۷/۵	۷/۴
۱۰	دوپلان	۳۵	۳۰	۶/۹	۶/۷	۶/۸	۶/۸
۱۱	هندیجان	۲۰۰	۶۰	۷/۲	۷/۲	۷/۲	۷/۱
۱۲	کازرون	۲۰۰	۷۰	۷/۲	۷/۳	۷/۳	۷/۲
۱۳	کرمان	۳۷	۳۵	۶/۹	۶/۸	۶/۹	۶/۹
۱۴	لهبری	۸۵>	۴۲	۷	۶/۹	۷	۷
۱۵	کردان	۳۵	۳۲	۶/۹	۶/۸	۶/۹	۶/۸
۱۶	پیشانی کوهستان	۸۰>	۶۵	۷/۲	۷/۲	۷/۲	۷/۲
۱۷	مافارون	۸۰	۶۸	۷/۲	۷/۲	۷/۳	۷/۲
۱۸	ماسان	۳۶	۳۴	۶/۹	۶/۸	۶/۹	۶/۹
۱۹	مرده فیل	۵۰	۴۴	۷	۷	۷	۷
۲۰	قالیکوه	۴۵	۴۰	۷	۶/۹	۷	۶/۹
۲۱	رگ سفید	۸۵	۷۰	۷/۲	۷/۳	۷/۳	۷/۲
۲۲	رامهرمز	۱۰۰	۷۰	۷/۲	۷/۳	۷/۳	۷/۲
۲۳	رخ شمالی	۹۸	۷۵	۷/۳	۷/۳	۷/۳	۷/۳
۲۴	بهرگان	۱۷۶	۹۵	۷/۴	۷/۵	۷/۵	۷/۴

بزرگای محاسبه شده با رابطه: ۱- (مهاجر اشجعی و نوروزی، ۱۹۷۸) ۲- (امبرسیز و ملویل، ۱۹۸۲) ۳- (نوروزی، ۱۹۸۵) ۴- (ولز و کپر اسمیت ۱۹۹۴)

لرزه زمین ساخت و برآورد خطر زمین لرزه ساختگاه سد خرسان ۵-۱

این داده‌ها در محاسبه شتاب فواصل نزدیک به گسل به مدل که تنها شتاب نگاشت‌های ایران را مورد استفاده قرار داده است وزن ۲۰ درصد نسبت داده شده است. با توجه به این که محدوده ۱۵۰ کیلومتری ساختگاه از توان لرزه‌خیزی بالائی برخوردار می‌باشد و همچنین میزان لغزش میانگین در طول اکثر گسل‌های ناحیه بیش از ۱/۰ میلیمتر در سال است، مقادیر شتاب‌ها را برای سطح ۸۴ درصد (مقادیر میانه + انحراف معیار) پیشنهاد می‌گردد (M. Idriss 2007). لیست زمین لرزه‌های تاریخی و دستگامی از منابع معتبر استخراج و در جدول ۴ ارائه می‌شود [1,15,18].

برای برآورد بیشینه شتاب افقی و قائم از مهم‌ترین مدل‌های کاهیدگی به شرح زیر استفاده شد:

(۲) (Campbell - Bozorgnia 2003)

(۳) (Ambraseys et al 2005)

(۴) (Zarhe et al 2004)

نتایج بررسی‌های برآورد شتاب در جدول ۳ ارائه شده است. در تحلیل نهایی، میانگین وزن دار مقادیر شتاب‌های افقی مورد استفاده قرار گرفت. با توجه به این که مدل کاهیدگی (۱) شرایط ساختگاهی و داده‌های میدان نزدیک را مورد توجه قرار داده، وزن ۴۵ درصد و مدل وزن ۳۵ درصد و با توجه به کمبود داده‌های شتابنگاری فاصله نزدیک در ایران و اهمیت

جدول ۳ - بیشینه شتاب‌های باورپذیر محاسبه شده پیرامون ۱۵۰ کیلومتری ساختگاه سد

No.	SITES	Effective Fault to Site	Distance to Site(km)	PEAK HORIZONTAL ACCELERATION (g)				PEAK VERTICAL ACCELERATION (g)			
				1 (45%)	2 (35%)	3 (20%)	Ave.	1 (45%)	2 (35%)	3 (20%)	Ave.
1	KHERSAN 1 - 5	Bazoft	18.0	0.293	0.186	0.334	0.269	0.200	0.092	0.334	0.194
2	KHERSAN 1 - 5	Massan	25.0	0.226	0.174	0.299	0.222	0.148	0.085	0.238	0.144

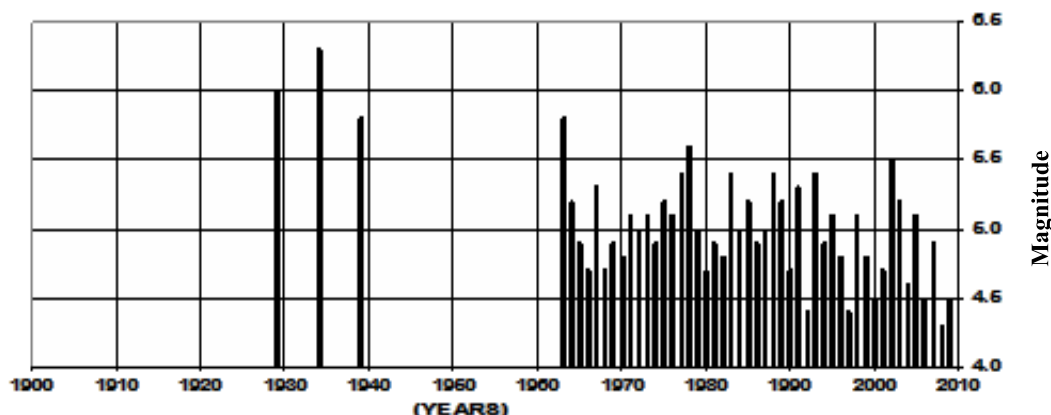
Peak Ground Accelerations calculated based on:(1) Campbell, K. W & Bozorgnia, Y. (2003), (2) Ambraseys, N. N. Etal (2005), (3) Zare, M. Etal. (2004) attenuation relationships.

جدول ۴ - شرح زمین لرزه‌های تاریخی پیرامون ۱۵۰ کیلومتری ساختگاه سد خرسان ۵-۱ [۱]

NO.	DATE	EPI-lat	EPI-long	q	I ₀ MM I	r' km	M _s	M _w	SEISMOGENI C FAULT	LOCATIO N	Distance to Site (km)	Refere nce
1	1052.00.00	30.60	50.30	b	VII+	400	6.8	6.7	Zagros Mountain Front	Arjan	101	Ber
2	1085.05.00	30.60	50.30	b	VII+		5.8	5.7	Zagros Mountain Front	Arjan	101	Ber
3	1666.00.00	32.10	50.50	c	VIII	300	6.5	6.4	Ardal?	North-west of Ardal	67	Ber
4	1853.06.05 m	31.30	51.90	c	VII	110	5.5	5.4	MZRF ?, Abadeh ?	Izadkhast	138	Ber
5	1853.06.11	32.53	50.22	c	VII	140	5.5	5.4	BabaHeidar, Farsan, Main Zagros Reverse	Faridan / Peria	117	Ber
6	1875.03.21	30.50	50.50	b		190	5.7				111	Ber
7	1880.00.00	32.02	50.65	b	>VII	120	>5.3		Ardal	Ardal	60	Amb& Mel

زمین‌لرزه‌های معاصر ساختگاه زمین‌لرزه ۱۹۳۴/۲/۴ م. با بزرگای ۶/۴ در فاصله ۱۴۶ کیلومتری ساختگاه و بر روی گسل دنا بوده است [۷]. در شکل ۳ نمودار توزیع زمانی آنها نشان داده شده است.

بزرگ‌ترین زمین‌لرزه تاریخی در فاصله ۱۵۰ کیلومتری پیرامون ساختگاه سد، در مناطق اردل و ارجان و در امتداد گسل‌های اردل و پیشانی کوهستان رخ داده است. توزیع زمانی بیشینه بزرگای سالیانه زمین‌لرزه‌ها نشان می‌دهد که حداکثر بزرگای به ثبت رسیده برای



شکل ۳- نمودار توزیع بزرگی زمین‌لرزه‌های دستگاهی در شعاع ۱۵۰ کیلومتری پیرامون ساختگاه سد

مستقل برای مقایسه هم‌ارزی سایر مقیاس‌های بزرگی استفاده شده است [21].

بررسی داده‌های زمین‌لرزه‌های سده اخیر نشان می‌دهد که در برخی موارد بزرگی‌های گزارش شده برای زمین‌لرزه‌ها فاقد یکی از دو بزرگای mb یا ms می‌باشند. به همین دلیل، برای محدوده مورد مطالعه رابطه ms-mb برای زمین‌لرزه‌های روی داده در این گستره، با استفاده از برازش خطی رابطه (۶) محاسبه گردیده است:

$$M_s = 1.4036m_b - 2.4004 \quad (6)$$

حذف پس‌لرزه‌ها و پیش‌لرزه‌ها

فرض اساسی در تحلیل لرزه‌خیزی گستره طرح برای روش‌های برگرفته از (Cornell 1968) این است که

بزرگی، یکی از عوامل مستقل، مهم و برگزیده شده برای برآورد و پیش‌بینی جنبش نیرومند زمین است.

گونگونی مقیاس‌های بزرگی به واسطه تفاوت رقمی خود می‌تواند منجر به اختلاف در برآورد کمی جنبش نیرومند زمین شود که در این صورت برای حذف این آشفتگی لازم است مقیاس‌های بزرگی، مقابله و هم‌ارز شوند. مقیاس بزرگی گشتاوری (M_w) که در مقایسه هم‌ارزی با چند نوع بزرگی با (M) نشان داده شده است، در پژوهش‌های (Kanamori 1979) با رابطه

$$\text{تجربی (۵) تخمین زده شده است [19]:} \quad (4)$$

$$M = 2.3 \log(M_o) - 10.7 \quad (5)$$

از آن جا که گشتاور لرزه‌ای ($M_o = mSD$) متناسب یا تنها وابسته به سرشت فیزیکی گسلش بوده و مستقل از تجهیزات لرزه‌نگاری است، از M نیز به گونه نمادی

برای شناخت الگوی لرزه خیزی در گستره طرح شناخت زمین لرزه های تاریخی نیز لازم است، این اطلاعات باید به درک فرآیندهای زمین ساختی و قوانین حاکم بر آن که برای زیر نظر گرفتن لرزه خیزی اهمیت دارد، منجر شود [17].

برای تعیین وضعیت لرزه خیزی نیاز به تخمین سه پارامتر آهنگ فعالیت (N) ضریب لرزه خیزی (b) و بیشینه بزرگای زلزله قابل رویداد (M_{max}) می باشد.

در روش حداقل مربعات گوتنبرگ - ریشتر داریم. برای محاسبه دوره بازگشت و آهنگ رویداد زمین لرزه از روابط (۷) و (۸) زیر استفاده می شود [۷]:

$$(T_R = T/N_e) \quad (۷)$$

$$(P = 1/T_R) \quad (۸)$$

برآورد پارامترهای لرزه خیزی

پارامترهای لرزه خیزی گستره طرح بر پایه آخرین فهرست داده ها با استفاده از روش کیکو - سلول - گراهام [21] که نتایج آن برای گستره به شرح زیر می باشد:

$$\text{Beta} = 3.32 \pm 0.15 \quad b = 1.44 \pm 0.06$$

$$\text{Lambda} = 2.02 \pm 0.14 \quad \text{for } M_{min} = 4.30$$

$$M_{max} = 7.50 \pm 0.89 \quad \text{for } \text{SIG} (X_{max}) = .40$$

همان طور که مشاهده می گردد، بیشینه بزرگی محاسباتی برای شعاع ۱۵۰ کیلومتری پیرامون ساختگاه طرح، ۷/۵ است که همخوان با توانمندی چشمه های لرزه زای این محدوده می باشد. ضریب β بر اساس روش مذکور ۳/۳۲ برآورد شده است. پس از محاسبه پارامترهای لرزه خیزی با استفاده از روش Kijko - Selevoll - Graham (2001)، دوره بازگشت زمین لرزه ها برای گستره طرح و پیرامون آن برآورد شده است.

توزیع شمار سالانه رویداد زمین لرزه ها در محدوده مورد مطالعه پواسونی باشد. این بدان معنی است که زمین لرزه ها، از لحاظ زمان، مکان و بزرگا مستقل بوده و هیچ ارتباطی با هم ندارند. با توجه به این محدودیت، پس لرزه ها و پیش لرزه ها که وابسته به زمین لرزه های اصلی هستند، باید از بانک اطلاعاتی حذف گردند. به این منظور، پس لرزه ها و پیش لرزه ها از زمین لرزه های اصلی شناسایی شده و حذف می گردند [16].

مدل پنجره های زمانی و مکانی انتخاب شده در این پژوهش، روش Keilis-Borok (1980) بوده است [20]. پس از حذف پیش لرزه ها و پس لرزه ها، تعداد سالانه زمین لرزه های روی داده برای محدوده زمانی داده های تکمیلی به روش مجذور کای، مورد آزمون پواسون قرار گرفت. با توجه به شمار پایین داده های اضافه شده در این مرحله این توزیع همچنان در سطح ۵ درصد با توزیع پواسون همخوان بود.

نتایج تحلیل آماری بزرگای زمین لرزه ها در گستره پیرامون ساختگاه نشان می دهد که در محدوده مورد مطالعه، در طی یکصد و ده سال گذشته ۹۰ درصد زمین لرزه ها دارای بیشینه بزرگای کمتر از ۵/۵ و ۱۰ درصد از زمین لرزه ها دارای بزرگای بیش از این مقدار می باشند. پارامترهای لرزه خیزی (بیشینه بزرگی منطقه ای M_{max} ، آهنگ فعالیت سالانه λ و پارامتر b در رابطه Gutenberg-Richter) الگوی آماری لرزه خیزی هر گستره را با کمیت عددی بیان می کنند.

برای ارزیابی این کمیت ها در گستره طرح لازم است که خصوصیات زمین لرزه های روی داده در گستره مورد مطالعه قرار گیرد و تأثیرشان بر ساختگاه محاسبه گردد. بنابراین ضروری است که داده های زمین لرزه جمع آوری شده و مورد پردازش آماری قرار گیرد.

تحلیل خطر زمین لرزه به روش احتمالاتی

در این روش بعد از شناسایی چشمه‌ها و تعیین مدل چشمه‌های لرزه‌ای (شکل ۵)، مناسب‌ترین روش انتخاب مدل پهنه‌ای (باریکه‌ای) بر پایه تصویر راهکار مورد استفاده در تحلیل خطر زمین‌لرزه بر پایه مدل (Cornell (1971,1968) و Mcquire (1976,1978) بوده است.

در استفاده از روش (Bender & Perkins (1987) و نرم افزار مربوط (Seisrisk III)، باید عدم قطعیت موقعیت چشمه‌های لرزه‌زا و همگنی توزیع داده‌های زمین‌لرزه در پهنه چشمه لرزه‌ز مدنظر قرار گیرند [12,16]. بیشینه شتاب افقی در سطح ۸۴ درصد برای ساختگاه سد محاسبه گردید. نتایج این محاسبات در جدول ۵ ارائه شده است.

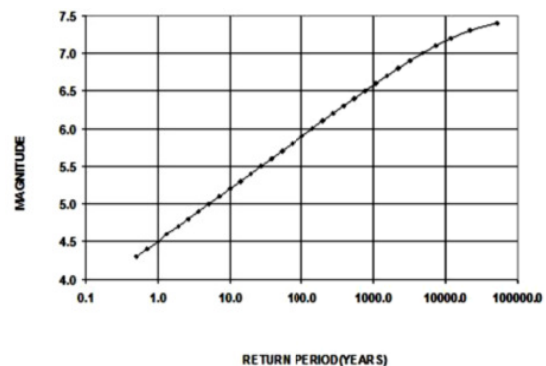
در این پژوهش به علت این که ساختگاه انتخابی در محدوده‌ای است که از گسل‌های فعال و همچنین پهنه‌های لرزه‌خیز دور می‌باشد، لذا با توجه به اینکه در مدل پهنه‌های باریکه شتاب محاسبه شده کم می‌باشد و با نظر گرفتن دستورالعمل (IBC2007) مقادیر شتاب‌ها نبایستی از مقادیر آیین‌نامه‌ها کمتر باشد (بطور مثال آیین‌نامه ۲۸۰۰) [۳]، برای رسیدن به شتاب‌های معقول و متعارف در گستره طرح، دوره بازگشت زمین‌لرزه یکصد ساله و لحاظ نمودن زمین‌لرزه شناور در شعاع ۱۵۰ کیلومتری ساختگاه مقادیر شتاب محاسبه شد.

بر این اساس، که در یک بازه زمانی ۵۰ تا ۱۰۰ سال در محدوده پیرامون ساختگاه، زمین لرزه‌ای با بزرگی ۵/۷ تا ۵/۹ حداقل یک بار اتفاق افتد. در محدوده برای دوره بازگشت ۴۷۵، ۲۴۷۵ و ۱۰۰۰۰ سال بزرگی زمین‌لرزه به ترتیب ۶/۳، ۶/۹ و ۷/۲ برآورد می‌گردد.

تحلیل آهنگ رویداد سالیانه زمین‌لرزه‌ها

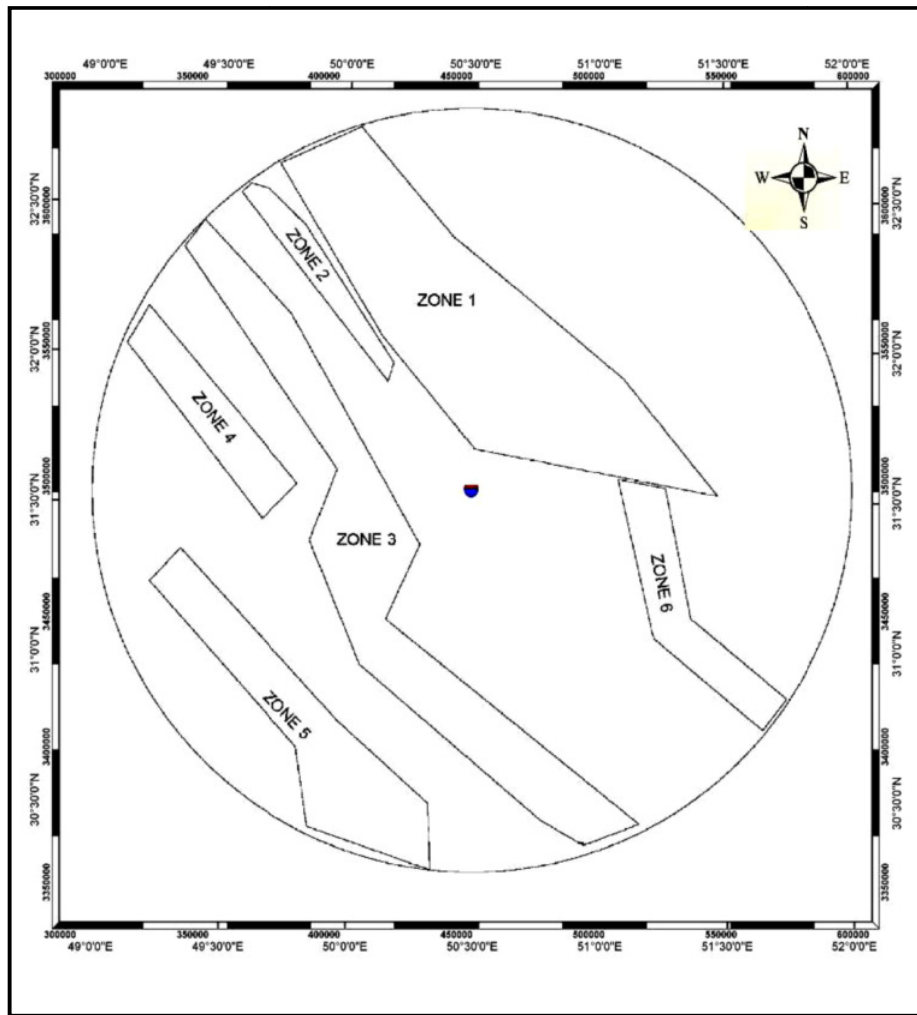
پس از دستیابی به دوره بازگشت زمین‌لرزه‌ها، امکان محاسبه آهنگ سالیانه رویداد زمین‌لرزه‌هایی با بزرگای مشخص میسر می‌گردد. این پارامتر، در محاسبه دوره‌های بازگشت بیشینه جنبش نیرومند زمین، به کار می‌رود.

مقادیر به دست آمده مربوط به مجموعه چشمه‌های لرزه‌زای محدوده ۱۵۰ کیلومتری پیرامون ساختگاه می‌باشد. بیشینه بزرگای منتسب به هر یک از این گسل‌ها، پس زمینه لرزه‌خیزی منطقه و بر پایه قضاوت مهندسی، نسبتی از مقادیر به دست آمده به هر یک از آن‌ها اختصاص داده می‌شود. در شکل ۴ آهنگ رویداد بزرگی زلزله به روش کیکو- سلول- گراهام در گستره طرح آورده شده است [21].



شکل ۴- نمودار دوره بازگشت زمین لرزه‌ها پیرامون ساختگاه سد

لرزه زمین ساخت و برآورد خطر زمین لرزه ساختگاه سد خراسان ۱-۵



شکل ۵- پهنه‌های لرزه‌زا محدوده ۱۵۰ کیلومتری ساختگاه سد

جدول ۵- ویژگی شتاب حاصل از زمین لرزه در پهنه‌های لرزه‌زا محدوده ۱۵۰ کیلومتری ساختگاه سد

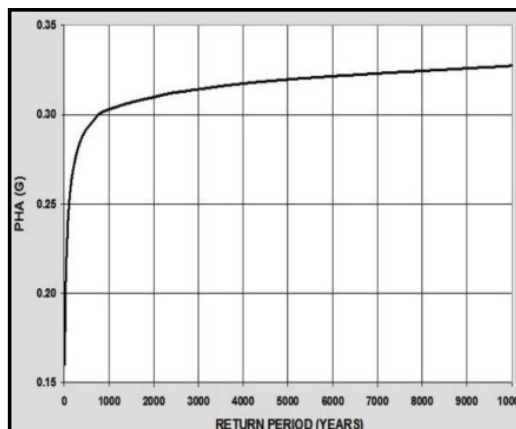
Magnitude	4.3	4.5	5	5.5	6	6.5	7	7.4	
Mean Annual Rate of Exceedance (λ)	1.34	0.69	0.132	0.025	0.0048	0.00089	0.00014	0.000013	Zone1
	0.038	0.02	0.004	0.0007	0.00014	0.00003	0.000004	0.0000003	Znoe2
	1.86	0.96	0.184	0.035	0.0066	0.0012	0.0002	0.000019	Zone3
	0.446	0.24	0.05	0.0086	0.0016	0.0003	0.00005	0.000005	Zone4
	0.687	0.36	0.07	0.013	0.0026	0.00045	0.00007	0.000007	Zone5
	0.573	0.297	0.057	0.011	0.002	0.00038	0.00006	0.000006	Zone6

جدول ۷- مقادیر بیشینه شتاب‌های افقی محاسبه شده برای سطوح مختلف طراحی پیشنهادی

Peak Horizontal Acceleration (g)	Return Period	Design Basic Level
0.261	150	OBL
0.291	475	DBL
0.31	2000	MDL
0.327	10000	MPL
0.269	Bazoft trace	MCL

منابع

- ۱- امبرسیز، ن و ملویل، ج. پ. (۱۳۷۰)، ترجمه تاریخ زمین لرزه‌های ایران، ابوالحسن زاده، انتشارات آگاه، ۶۷۴ ص.
- ۲- آقانیاتی، ع.، (۱۳۸۳). زمین شناسی ایران. سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۶۹۸ ص.
- ۳- آیین نامه طرح ساختمان ها در برابر زلزله (۱۳۸۴). مجموعه آیین نامه های ساختمانی ایران، استاندارد ۲۸۰۰، ویرایش سوم مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، ۲۵۳ ص.
- ۴- احمدی کمیجانی، ن.، گزارش لرزه زمین ساخت، مطالعات شناخت نیروگاه‌های تلمبه- ذخیره‌ای محدوده برق منطقه‌ای اصفهان، شناخت تکمیلی، مشانیر.
- ۵- ادیب، ا. (۱۳۸۷)، تحلیل احتمالاتی از جایجایی دائم زمین در امتداد گسل کهریزک، طرح پژوهشی دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب، ۷۱ ص.
- ۶- توکلی، ب. و غفوری آشتیانی، م. (۱۳۷۸). نقشه خطر لرزه‌ای ایران، پژوهشگاه بین‌المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله ۱۹۲ ص.
- ۷- دانشجو، ف. (۱۳۷۸)، مبانی مهندسی زلزله و آنالیز ریسک، انتشارات علمی و تخصصی دانش فردا، ۱۴۵ ص.
- ۸- دلدار، ح.، مطالعات شناخت نیروگاه‌های تلمبه ذخیره‌ای محدوده برق منطقه‌ای اصفهان، شناخت تکمیلی، گزارش زمین شناسی مهندسی، فصل چهارم، مشانیر، ص ۴.
- ۹- زارع، م. (۱۳۸۸)، مبانی تحلیل خطر زمین لرزه، پژوهشگاه بین‌المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله، ۱۴۲ ص.
- ۱۰- نقشه جغرافیایی استان چهارمحال و بختیاری (۱۳۸۱) سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح



شکل ۶- نمودار خطر لرزه‌ای برای ساختگاه سد با دوره بازگشت مختلف بر اساس زمین لرزه شناور پیرامون ساختگاه

جدول ۶- مقادیر شتاب‌های افقی محاسبه شده برای دوره بازگشت مختلف برای پیرامون ۱۵۰ کیلومتری ساختگاه سد

YEAR	Z	A	C	M
50	0.271	0.135	0.253	0.221
75	0.279	0.166	0.263	0.237
100	0.283	0.189	0.269	0.248
150	0.287	0.218	0.277	0.261
250	0.292	0.250	0.285	0.276
350	0.296	0.269	0.289	0.284
475	0.299	0.283	0.293	0.291
650	0.301	0.294	0.297	0.297
800	0.302	0.301	0.300	0.301
1000	0.303	0.306	0.301	0.303
1500	0.304	0.317	0.302	0.307
2000	0.305	0.324	0.303	0.310
2475	0.306	0.330	0.304	0.312
5000	0.309	0.348	0.307	0.320
10000	0.311	0.367	0.310	0.327

Z=Zare-Sabzali(2004)
 A=Ambrasays et al;(2005)
 C=Campbell-bozorgnia(2003)
 M=Medium

- 11- Ambraseys, N., N., and Melville, C., P., (1982). A history of seismic earthquakes. Cambridge university press. 219p
- 12- Bender, B., and Perkins, D., (1987). A computer program for seismic hazard estimation, SEISRISK III. US Geological Surv. Bull. 1772.
- 13- Berberian, M. (1976). Contribution of the seismotectonics of Iran (Part II). Geol. Surv. Iran, Rep. No. 39.
- 14- Berberian, M. (1995). Master blind thrust fault hidden under the Zagros fold active basement tectonics & surface morphotectonics, Tectonophysics 241, pp 143-224.
- 15- Berberian, M., (1994). Natural hazards and the first earthquake catalogue of Iran. Vol. 1, Historical hazards in Iran prior to 1900. A UNESCO/IIIES publication during N/IDNDR: International Institute of Earthquake Engineering and Seismology, Tehran, Iran. 603p
- 16- Cornell C.A. (1968). Engineering Seismic Risk analysis Bull. Seism. Soc. Am., 58, 1583-1606
- 17- Gutenberg, B., and C. F. Richter (1944). Frequency of earthquakes in California. Bull. Seism. Soc. Am., 34, pp 185-188.
- 18- J. Douglas, Engineering Seismology and Earthquake Engineering. A Comprehensive worldwide summary of strong-motion attenuation relationships for peak ground acceleration and spectral ordinates (1969 to 2000). ESEE Report No. 01-1. January 2001.
- 19- Kanamori, H., (1979). A semi-empirical approach to prediction of long – period ground motion from great earthquakes. Bull. Seism. Soc. Am., 69, 27, pp 1645-1670
- 20- Keilis-Borok, V. I., L. Knopoff and I. M. Rotwain (1980). Bursts of aftershocks, long-term precursors of strong earthquakes. Nature, 283, pp 258-63.
- 21- Kijko, A., (2001). Statistical estimation of maximum regional earthquake magnitude. 12th European Conference on Earthquake Engineering, Elsevier Science Ltd, pp 167-174.
- 22- Mirzaei, N., Geo, M & Chen, Y.T., (1998) seismic source regionalization for seismic zoning of Iran: major seismotectonic province. Journal of earthquake prediction research, 7, pp 465-495
- 23- Mohajer-Ashjai, A. and A. A. Nowroozi (1978). Observed and probable intensity zoning of Iran. Tectonophysics, 49, pp 149-160.
- 24- Mohajjel M., Fergusson C.L., Sahand M.R., 2003 Cretaceous- Tertiary landward & Continental collision, Samandaj- Sirgan, Western Iran journal of Earth Sciences 21(2003) pp 397- 412.
- 25- Nogole Sadat, M. A. A. (1994). Quaternary map of Iran. 1:2000000, Treatise on the geology of Iran, Geol. Surv. Iran.
- 26- Nowroozi, A. A. (1985). Empirical relations between magnitudes and fault parameters for earthquakes in Iran. Bull. Seism. Soc. Am., 75, 5, pp 1327-1338
- 27- Wells, D. L. and K. J. Coppersmith (1994). New empirical relationships among magnitude, rupture length, rupture width, rupture area and surface displacement. Bull. Seism. Soc. Am., 84, 4, pp 974-1002.

