

لرزه زمین ساخت و برآورد خطر زمین لرزه ساختگاه سد جریانی دز

مهران آرین*^۱، ناصر احمدی کمیجانی^۲، علی سلگی^۳، نگین رحیمی^۴

۱- دانشیار گروه زمین شناسی دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران

۲- کارشناس ارشد زمین شناسی ساختمانی- مهندسین مشاور مشانیر

۳- استادیار گروه زمین شناسی دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران

۴- دانش آموخته کارشناسی ارشد زمین شناسی ساختمانی - دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران

(* عهده دار مکاتبات - mehranarian@yahoo.com)

چکیده

ساختگاه سد جریانی دز بر اساس تقسیمات زمین شناسی در زون زاگرس چین خورده واقع گردیده است. مهمترین چشمه های لرزه‌زا نسبت به ساختگاه سد، گسله های خلج، پیراحمد و دزفول می باشند که بایستی در طراحی سازه سد توجه خاصی به آن ها مبذول داشت. گسل خلج در صورت فعالیت، توانایی تولید زمین لرزه ای دست کم با بزرگای ۷ را دارد. نتیجه ارزیابی به روش تعیینی نشان می دهد که در صورت جنبش، این گسل توانایی تولید بیشینه شتاب افقی ۰/۶۹۷g و قائم ۰/۶۱۸g را در ساختگاه دارد. همچنین با توجه تحلیل احتمالاتی خطر زلزله در گستره طرح برای دوره های بازگشت ۱۵۰، ۴۷۵ و ۲۰۰۰ سال، به ترتیب شتابی برابر ۰/۲۳۴g، ۰/۲۷۳g و ۰/۳۳۱g برآورد می گردد.

واژگان کلیدی: زمین لرزه، تحلیل خطر، بیشینه جنبش نیرومند زمین، سد جریانی دز.

۱- مقدمه

زمین لرزه، بازتاب یک رویداد زمین شناختی است که در روی زمین به گونه تکان دریافت می شود. در حدود ۹۰٪ زمین لرزه ها، زمین ساختی و ۱۰٪ مربوط به فعالیت های آتشفشانی و رویدادهای غیر زمین ساختی هستند. بازتاب این رویداد زمین شناختی خطر آفرین است. این خطر در دو مفهوم خطر لرزه ای و خطرپذیری لرزه ای بکار گرفته می شود. خطر لرزه ای، خطری است که برای تمامی مناطق زلزله خیز وجود دارد، خواه تمدن و سازه ای در منطقه باشد یا نباشد. بنابراین واژه خطر لرزه ای در این مکان ها مفهومی عام دارد. این خطر در زون های گسلی فعال یا سابقه زلزله خیزی تاریخی منطقه نهفته است. خطرپذیری لرزه ای مفهومی است خاص که همراه با واژه هایی چون خسارت، فروپاشی، خسارات جانی و مانند آن بیان می شود. به هر حال مسبب خطر لرزه ای و خطرپذیری لرزه ای زمین لرزه ای است که در آینده نامشخصی محتمل است در منطقه مورد نظر واقع شود. در این صورت احتمال اعمال جنبش نیرومندی در آینده مفهوم خطر لرزه ای و احتمال آسیب پذیری بالقوه به هر شکل، ناشی از این جنبش نیرومند در آینده، مفهوم خطرپذیری لرزه ای را در آن منطقه بیان می کنند. علاوه بر ویژگی های زمین لرزه محتمل با بازشناسی زمین لرزه های گذشته منطقه مورد مطالعه و نگاشت های جنبش نیرومند زمین در رابطه با آن ها، تشخیص گسل های توانمند و فعال قوت می گیرد. علاوه بر ویژگی های زمین لرزه محتمل با بازشناسی زمین لرزه های گذشته منطقه مورد مطالعه و نگاشت های جنبش نیرومند زمین در رابطه با آن ها، تشخیص گسل های توانمند و فعال قوت می گیرد. آنگاه این دریافت ها به زبان احتمالات به گونه ای کمی با روش های متفاوتی در تحلیل خطر لرزه ای و خطرپذیری لرزه ای مورد استفاده قرار می گیرند، با این تفاوت که در خطرپذیری لرزه ای میزان پایداری کل سازه و اجزای گوناگون آن در برابر نیروی زمین لرزه با توجه به درجه های آسیب پذیری احتمالی نیز باید تخمین زده شود. چنین تخمینی نیاز به تحلیل خطر لرزه ای دارد که به خودی خود ارزیابی های احتمالاتی پارامترهای جنبش زمین برای طراحی را تعریف کند.

۲- موقعیت جغرافیایی گستره طرح

ساختمان سد جریانی دز دارای مختصات جغرافیایی $32/482$ شمالی و $48/503$ خاوری می‌باشند که بر روی رودخانه دز و در پایین دست سد دز و در شمال خاوری شهر دزفول قرار دارد. هدف اصلی از اجرای این پژوهش، شناخت وضعیت لرزه زمین ساخت منطقه، تعیین سرچشمه‌های لرزه‌زای منطقه، تعیین پارامترهای لرزه‌خیزی گستره، تعیین توان لرزه‌زایی گسل‌های منطقه و تحلیل خطر لرزه‌ای به دو روش تعیینی و احتمالاتی ساختمان سد می‌باشد.

۳- روش پژوهش

به طور کلی چند مرحله اصلی را جهت به انجام رساندن این پژوهش می‌توان بیان نمود:

مرحله اول: شامل جمع‌آوری اطلاعات پایه‌ای مشتمل بر مطالعات و بررسی گزارشات و نقشه‌های زمین‌شناسی

مرحله دوم: جمع‌آوری زمین‌لرزه‌های تاریخی و دستگاهی در گستره‌ای به شعاع 150 کیلومتری از ساختمان

مرحله سوم: بدست آوردن بزرگای بیشینه در گستره مورد مطالعه

مرحله چهارم: محاسبه پارامترهای لرزه‌خیزی منطقه با استفاده از روش کیکو- سلوول- گراهام

مرحله پنجم: محاسبه پارامترهای جنبش نیرومند زمین با استفاده از تحلیل خطر لرزه‌ای به روش احتمالاتی

۴- زمین ساخت و ریخت زمین ساخت ناحیه مورد مطالعه

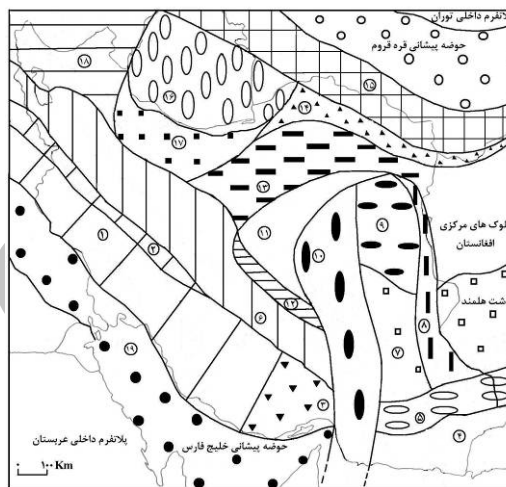
کوتاه‌شدگی، لرزه‌خیزی و فعالیت‌های نوزمین‌ساختی در منطقه زاگرس نتیجه حرکت عمومی رو به شمال صفحه عربستان با یک آهنگ نسبتاً سریع است. اطلاع دقیقی از آهنگ کنونی همگرایی عربستان به سوی ایران مرکزی وجود ندارد. با این وصف بر اساس مدل‌های مختلف ارائه شده برای حرکات صفحات زمین‌ساختی (لیپشون، ۱۹۶۸ مینستر و جردن، ۱۹۷۸ مکنزی، ۱۹۷۲) صفحه عربستان با سرعتی حدود $4/2$ سانتیمتر در سال به اوراسیا نزدیک می‌شود. این مقدار در کارهای اخیر کمتر، یعنی حدود $3/6$ سانتی‌متر در سال برآورد گردیده است (دی متز و همکاران، ۱۹۹۰). چنین تصور می‌شود که حدود نصف مقادیر فوق در منطقه زاگرس و نیم دیگر در نتیجه همگرایی صفحات در ایران مرکزی و کوه‌های شمال ایران مرکزی و کوه‌های شمال ایران (البرز و کپه داغ) مستهلک می‌گردد (آقانباتی، ۱۳۸۳). از دیدگاه زمین‌ساختی، محدوده گزینه‌های پیشنهادی در گستره زاگرس چین‌خورده قرار داشته و از این زون تأثیر می‌پذیرد. بر این اساس در این مقاله، پهنه مذکور به عنوان پهنه اصلی موثر مورد توجه قرار گرفته است. بخش اصلی گستره مورد مطالعه در خمیدگی بالارود و در زون تغییرات گسل خمیدگی جبهه کوهستان واقع شده است. در این منطقه گسل‌های متعدد و خطواره‌های ساختاری بی‌شماری شناسایی شده است. خطواره‌های ساختاری درون این منطقه، روند تغییرات سازوکار برش را نشان می‌دهد. فروبار دزفول به عنوان یک منطقه ساختاری ویژه در حاشیه شمالی صفحه عربستان و جنوب خمیدگی بالارود قرار گرفته است. شواهد ریخت زمین‌ساختی از قسمت‌های خاوری منطقه خمیدگی به طرف بخش‌های باختری، با یکدیگر متفاوت می‌باشد. این شواهد با سازوکار برشی و فشارشی حاکم در آن منطقه مرتبط می‌باشند (آقانباتی، ۱۳۸۳).

تاقدیس اسفندیاری واقع در بخش خاوری گزینه‌های پیشنهادی، اثری از محور چین‌خوردگی نوع S را نشان می‌دهد. با پیش روی به سمت باختر، تاقدیس لب سفید توسط محور چین‌خوردگی M شکل مشخص می‌شود. در قسمت باختری ساختمان، محور تاقدیس چناره به شکل Z چرخیده است. این تاقدیس‌ها، نماینده گروهی از تاقدیس‌ها با شکل مشابه هستند.

۵- لرزه زمین‌ساخت گستره مورد مطالعه

یکی دیگر از مراحل اساسی در تحلیل خطر زمین‌لرزه، تعریف چشمه یا چشمه‌های زمین‌لرزه‌ای است که در پیرامون ساختگاه قرار دارند. تعریف چشمه‌های لرزه زمین‌ساختی اغلب نیاز به دانشی از زمین‌شناسی لرزه‌خیزی و زمین‌ساخت محلی و منطقه‌ای دارد (Gutenberg and Richter, 1944).

مکان و طبیعت وقوع زمین‌لرزه‌ها را می‌توان به دو نوع ساختارهای لرزه زمین‌ساختی و استان‌های لرزه زمین‌ساختی تقسیم نمود. ساختار لرزه زمین‌ساختی یک ساختار زمین‌شناسی قابل شناسایی است که فرض می‌شود زمین‌لرزه‌ها در اثر فعالیت آن تولید شده است. گسل‌های فعال یکی از ساختارهای مهم به شمار می‌آیند. پهنه لرزه زمین‌ساختی، منطقه یا بخشی از یک منطقه است که در آنجا عموماً گسل‌های فعال یا ساختار لرزه زمین‌ساختی از یک رژیم لرزه‌خیزی پیروی می‌کنند. این چشمه‌ها می‌توانند به صورت یک منطقه جغرافیایی که از دیدگاه زمین‌شناسی، ژئوفیزیکی و زلزله‌شناسی دارای شرایط یکسان بوده و در سراسر آن توان لرزه‌زایی یکنواخت فرض می‌شود، تعریف گردد. زمین‌لرزه‌ها هر چند ممکن است در بعضی از مکان‌های آن به صورت متمرکز به وقوع بپیوندند ولی فرض می‌شود که در سراسر یک استان لرزه زمین‌ساختی زمین‌لرزه‌ها به طور و با احتمال مساوی روی می‌دهند. به عبارت دیگر مقدار b در رابطه گوتنبرگ- ریشتر برای یک استان لرزه زمین‌ساخت ثابت فرض می‌شود. داده‌های زمین‌شناسی، زمین‌ساختی، لرزه‌ای و لرزه‌خیزی برای شناسایی و تفکیک این چشمه‌ها مفید هستند. برای ایران زمین تاکنون چندین مدل لرزه زمین‌ساختی ارائه شده است (Mirzaei and et al., 1998; Nogol e Sadat, 1994). در این پژوهش از مدلی که توسط آرین (۱۳۸۹) ارائه شده (شکل ۱) استفاده شده است. در این مدل ایران به ۱۹ ایالت لرزه زمین‌ساختی تفکیک گردیده است. ساختگاه و نواحی پیرامون آن تا فاصله ۱۵۰ کیلومتری، در ایالت‌های ۱، ۲ و ۶ این تقسیم‌بندی که به ترتیب با نام‌های زاگرس، پیرانشهر- بروجن و ارومیه - سیرجان معرفی شده‌اند، قرار گرفته است.



شماره	ایالت لرزه زمین‌ساختی	شماره	ایالت لرزه زمین‌ساختی	شماره	ایالت لرزه زمین‌ساختی	شماره	ایالت لرزه زمین‌ساختی
۱	زاگرس	۶	ارومیه- سیرجان	۱۱	کاشمر- انارک- بافق	۱۶	خزرجنوبی
۲	پیرانشهر- بروجن	۷	لوت	۱۲	نائین- رفسنجان	۱۷	البرزمرکزی
۳	بندر عباس	۸	خاورایران	۱۳	کوبربزرگ- تایباد	۱۸	آذربایجان
۴	مکران	۹	گناباد - بیرجند	۱۴	البرز خاوری	۱۹	خلیج فارس
۵	جزموریان	۱۰	طبس- میناب	۱۵	کپه داغ- خزرمیانی		

شکل ۱: ایالت‌های لرزه زمین‌ساختی ایران، برگرفته از آرین (۱۳۸۹)

۶- گسل‌های گستره مورد مطالعه

از آنجا که حرکت زمین در طرفین سطح گسل در بسیاری موارد با زمین‌لرزه همراه است، مطالعه گسل‌های فعال می‌تواند پایه‌ای برای بررسی‌های لرزه زمین‌ساختی در محدوده‌های مورد بررسی باشد. در فلات ایران به دلیل تراکم بالای گسل‌های فعال از یک طرف و دقت پایین داده‌های لرزه‌ای از طرف دیگر، چشمه برخی از زمین‌لرزه‌ها به بیش از یک گسل ارتباط داده شده است. علاوه بر این حرکت تدریجی در راستای بسیاری از گسل‌های فعال در دوره‌های زمانی طولانی، گاه به صورت خزش بوده و یک زمین‌لرزه بزرگ را پدید نمی‌آورند.

در جدول (۱) گسل‌های موجود در گستره ۱۵۰ کیلومتری از ساختگاه سد در همراه ویژگی‌های آن‌ها آورده شده است.

جدول ۱: گسل‌های موجود در گستره ۱۵۰ کیلومتری از ساختگاه سد در همراه ویژگی‌های آن‌ها

نام گسل	طول گسل	طول گسیختگی	سازوکار
گسل خلج	۸۵	۴۲	راندگی
گسل دزفول	۵۷	۵۱	راندگی
گسل ریت	۳۲	۲۹	راندگی
خمیدگی جبهه کوهستان	۸۰	۶۵	راندگی
گسل پیراحمد	۳۰	۲۸	راندگی
گسل لالی	۳۵	۳۲	راندگی
گسل زردکوه	۱۳۰	۸۸	معکوس
گسل شیرکان	۷۸	۶۵	راندگی
گسل دهقوان	۴۵	۴۰	راندگی
گسل شوستر	۶۵	۵۵	راندگی
گسل مسجدسلیمان	۳۰	۲۸	راندگی
گسل اندیکان	۶۰	۵۲	راندگی
گسل میش داغ	۳۸	۳۵	راندگی
گسل چشمه خوش	۵۰	۴۵	راندگی
گسل کارنج	۳۵	۳۲	راندگی
گسل زاگرس مرتفع	۱۰۰	۷۶	راندگی
گسل گلستان	۲۷	۲۵	راندگی

۷- مطالعات لرزه‌خیزی

پارامترهای لرزه‌خیزی (بیشینه بزرگای منطقه‌ای M_{max} ، آهنگ فعالیت سالانه λ و پارامتر b در رابطه گوتنبرگ-ریشتر)، الگوی آماری لرزه‌خیزی هر گستره را با کمیت عددی بیان می‌کنند. برای ارزیابی این کمیت‌ها در گستره طرح لازم است که خصوصیات زمین‌لرزه‌های روی داده در گستره مورد مطالعه قرار گیرد و تأثیرشان بر ساختگاه محاسبه گردد. بنابراین ضروری است که داده‌های زمین‌لرزه جمع‌آوری شده و مورد پردازش آماری قرار گیرد. این داده‌ها از گزارش‌های پایگاه‌های زلزله‌شناسی قابل استخراج است. پارامترهایی که توسط مرکزهای مختلف گزارش می‌شوند و در تحلیل کاربرد عمومی دارند، عبارت از تاریخ و ساعت رویداد، مختصات مرکز سطحی، بزرگا و ژرفای کانونی است. در تعیین این پارامترها توسط مرکزهای زلزله‌شناسی اختلاف وجود دارد. این اختلاف به ویژگی‌های پیچیده زمین‌لرزه و

خطای موجود در اندازه‌گیری توسط پایگاه‌ها مربوط می‌شود. برای انجام تحلیل خطر لرزه‌ای لازم است که این خطاها در نظر گرفته شوند.

۷-۱- زمین‌لرزه‌های گسترده مورد مطالعه

در این قسمت، زمین‌لرزه‌های مهم روی داده در گستره مورد مطالعه که شامل زمین‌لرزه‌های تاریخی و دستگاهی می‌باشد، تشریح گردیده‌اند. در جمع‌آوری این داده‌ها، از مراجع و منابع معتبر داده‌های زمین‌لرزه‌ها استفاده شده است.

۷-۱-۱- زمین‌لرزه‌های تاریخی

زمین‌لرزه‌های باستانی و تاریخی (پیش از سده بیستم) منحصر به کتاب‌های تاریخی، سفرنامه‌ها و اسناد پراکنده می‌باشند و طبیعی است که استفاده از چنین داده‌هایی برای ارزیابی زمین‌لرزه‌های روی داده در گذشته کار مشکلی است. سهل‌انگاری و یا اغراق بیش از حد رویداد نویسان در ثبت واقعه‌های تاریخی بر این مشکل‌ها می‌افزاید، زیرا گاهی چندین زمین‌لرزه بزرگ را به صورت منفرد معرفی نموده‌اند و یا اغراق آن‌ها در توصیف یک زمین‌لرزه، باعث برآورد نادرستی از شدت زمین‌لرزه‌ها شده است (آمبرسز، ن و ملویل، ۱۳۷۰). در جدول (۲) زمین‌لرزه‌های تاریخی رخ داده در گستره مورد مطالعه آورده شده است.

جدول ۲: زمین‌لرزه‌های تاریخی رخ داده در گستره مورد مطالعه

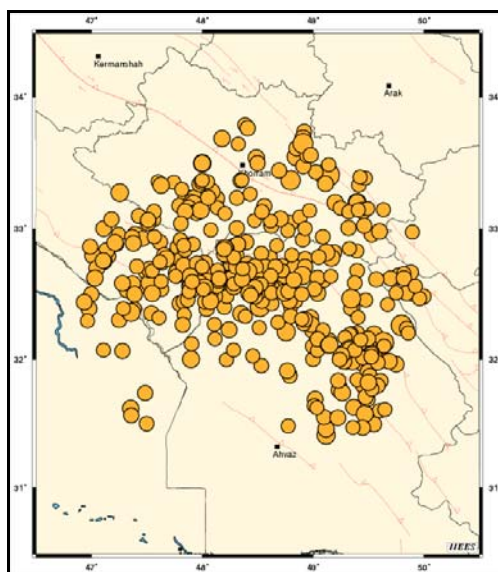
DATE	EPI-lat	EPI-long	q	l_0 MMI	r_0 km	r' km	Ms	Mw	PEOPLE KILLED	SEISMOGENIC FAULT	GROUND EFFECT	LOCATION	Distance To Site(km)
C.11000 BP	33.00	47.60	c	>IX			>7.0			Kabir Kuh, Zagros Mountain Front	Landslide	Saimareh	102.3
0840.00.00	31.32	48.67	b	VIII			6.5		Number of people killed	Zagros Foredeep	Landslide	Ahvaz	130.6
0872.06.21 f	33.11	47.15	c							Kabir Kuh, Zagros Mountain Front		Saymareh-Dareh Shahr	144.7
872.06.22 m	33.11	47.15	b	VIII+		330	6.8	6.7	20000	Kabir Kuh, Zagros Mountain Front	Landslide	Saymareh-Dareh Shahr	144.7
1316.01.05	33.50	49.40	c			200	6.2						139.5
1876.09.28	33.10	49.70	b			160	5.8						130.4

۷-۱-۲- زمین‌لرزه‌های دستگاهی

داده‌های دور لرزه‌ای زمین‌لرزه‌های سده بیستم در دهه‌های گوناگون این سده دارای خطاهای گوناگونی در رومرکز، کانون ژرفی رویداد زمین‌لرزه است. هم زمان با تکمیل دستگاه‌های لرزه‌نگاری و افزایش شمار ایستگاه‌های لرزه‌نگاری این خطاها کم شده است. علی‌رغم کاهش خطاهای داده‌های دستگاهی، دقت آن‌ها برای بررسی‌های لرزه زمین‌ساختی کافی نیست و داده‌های مذکور می‌بایست، در صورت موجود بودن، همراه با داده‌های مه‌لرزه‌ای که مبتنی بر مشاهدات محلی و میزان تلفات و خرابی‌ها است، مورد استفاده قرار گیرند. شکل (۲) موقعیت کانون سطحی زمین‌لرزه‌های قرن بیستم و یکم گستره مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

۷-۲- گزینش بزرگای زمین‌لرزه‌ها

به منظور برآورد الگوی لرزه‌خیزی در گستره طرح از مفهوم بزرگای دوگانه یا برتر استفاده شده است. بزرگا، یکی از پارامترهای مستقل، مهم و برگزیده شده، برای برآورد و پیش‌بینی جنبش نیرومند زمین است. در واقع اندازه زمین‌لرزه در قالب مقیاس‌های بزرگا برآورد می‌شود. بزرگا به هر شکل که باشد، تنها پارامتر مستقلی است که برآورد آن پس از وقوع زمین‌لرزه به طور معمول توسط مرکز شبکه‌های لرزه‌نگاری جهانی گزارش شده و در دسترس می‌باشد (Kijko, 2004).



شکل ۲: موقعیت کانون سطحی زمین‌لرزه‌های قرن بیستم و بیست و یکم گستره مورد مطالعه

اما گوناگونی مقیاس‌های بزرگا 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 بزرگا به هنگام کاربرد در برآورد و پیش‌بینی جنبش نیرومند زمین، مقابله و هم‌ارز شوند. مقیاس بزرگای گشتاوری (M_w) که در مقایسه هم‌ارزی با چند نوع بزرگا در رابطه (۱) با (M) نشان داده شده است، در پژوهش‌های کاناموری (۱۹۷۹) با رابطه تجربی زیر تخمین زده شده است.

$$M = 2.3 \log(M_0) - 10.7 \quad (1)$$

از آنجا که گشتاور لرزه‌ای ($M_0 = mSD$) متناسب یا تنها وابسته به سرشت فیزیکی گسلش بوده و مستقل از تجهیزات لرزه‌نگاری است، از M نیز به گونه نمادی مستقل برای مقایسه هم‌ارزی سایر مقیاس‌های بزرگا استفاده شده است (Kanamori, 1979).

سوای بزرگای گشتاوری بقیه مقیاس‌های بزرگا در محدوده قلمرو فرکانسی خود در نتیجه اشباع سیستم تهیه نگاشت لرزه‌نگار به سوی یک مقدار حدی گرایش دارند. در واقع برای هر بزرگا، قلمرو فرکانس محدودی تعریف شده و نیز هر کدام از تجهیزات زلزله‌سنجی به سبب محدودیت ساختمانی بیشینه دامنه‌ای را که می‌تواند نشان دهد محدود است و بدین سبب در یک موقعیت به حالت اشباع در می‌آید. به طور مثال در یک لرزه‌نگار ویژه ممکن است این بیشینه محدود، مربوط به بزرگای ۸ در مقیاس موج سطحی باشد، آن وقت چنین سیستمی برای زمین‌لرزه‌های بزرگتر از ۸ در این مقیاس در شرایط همسان همان بیشینه دامنه را نشان خواهد داد. در این وضع گفته می‌شود که دستگاه برای زمین‌لرزه‌های بزرگتر از ۸ در مقیاس موج سطحی به حد اشباع رسیده است. بنابراین برای گزینش مناسب مقیاس بزرگا بهتر است از چند مقیاس مختلف و هم‌ارز نمودن آنها با بزرگای گشتاوری که وابسته به نظام لرزه‌نگار نیست استفاده شود (Kanamori, 1979).

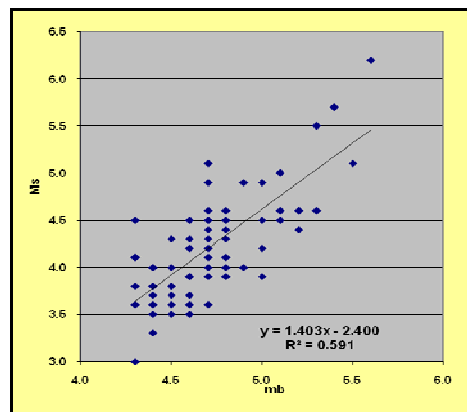
در فاصله همخوانی، بزرگاها به طور نسبی به پیروی از بزرگای گشتاوری مستقل از سیستم اندازه‌گیری می‌باشند. با رویکرد به این شکل تا حدود بزرگای $5/3$ بزرگای mb و در حدود ۶ بزرگای ML و بین ۶ تا ۸ بزرگای Ms هم‌ارز M_w و مستقل می‌شوند، در حالی که ارزیابی بزرگاها بیش از ۸ تنها با بزرگای گشتاوری معتبر است و بزرگای موج سطحی کمتر از حدود ۶ غیر قابل اعتماد می‌باشد. با پذیرش این بستگی فاصله کاربرد مقیاس‌های گوناگون بزرگا

درباره برآورد جنبش نیرومند زمین مشخص خواهد شد. از آنجا که مقیاس بندی جنبش نیرومند زمین تابعی از فیزیک زمین لرزه و فیزیک محیط انتشار می باشد، بهتر آن است که این بستگی برای منطقه مورد بررسی به طور جداگانه تهیه شود.

بررسی داده های زمین لرزه های سده اخیر نشان می دهد که در برخی موارد بزرگهای گزارش شده برای زمین لرزه ها فاقد یکی از دو بزرگای mb یا Ms می باشند. به همین دلیل برای محدوده مورد مطالعه رابطه mb-Ms برای زمین لرزه های رویداده در این گستره (شکل ۳)، با استفاده از برازش خطی در رابطه (۲) محاسبه گردیده است:

$$Ms = 1.403mb - 2.4 \quad (2)$$

با استفاده از این رابطه مقادیر mb و Ms برای کلیه داده ها تکمیل گردیده و بر مبنای حد تساوی دو مقیاس بزرگا برای محدوده مورد مطالعه و هم ارزی آن دو در این حد با Mw و بر مبنای حدود بیشترین اعتبار مقیاس های مختلف، بزرگا (در ستون Magnitude) جهت استفاده در مراحل بعد انتخاب گردیده است.



شکل ۳: برازش خطی رابطه mb-Ms برای داده های محدوده ۱۵۰ کیلومتری پیرامون ساختگاه

۷-۳- حذف پس لرزه ها و پیش لرزه ها

فرض اساسی در تحلیل لرزه خیزی گستره طرح برای روش های برگرفته از کرنل ۱۹۶۸ این است که، توزیع شمار سالیانه رویداد زمین لرزه ها در محدوده مورد مطالعه پواسونی باشد. این بدان معنی است که در طول گسل ها یا پهنه های لرزه ای فرض می شود که زمین لرزه ها به طور پیشا در فضا و زمان اتفاق می افتند. بنابراین زمان وقوع زمین لرزه آتی مستقل از زمان سپری شده از وقوع آخرین زمین لرزه است. همچنین فرآیند پواسونی دارای هیچ حافظه ای نیست، یعنی بزرگای زمین لرزه ها در یک پهنه لرزه خیز مستقل از یکدیگرند. مدل پواسونی با وجود اینکه در بسیاری از حالت ها سازگار با فرآیند فیزیکی ایجاد زمین لرزه نیست ولی هنوز در تحلیل لرزه خیزی کاربرد فراوانی دارد (Cornel, 1968). با توجه به محدودیت ذکر شده، پس لرزه ها و پیش لرزه ها که وابسته به زمین لرزه های اصلی هستند باید از بانک اطلاعاتی حذف گردند. برای حذف پیش لرزه ها و پس لرزه ها، مدل های مختلفی از جمله گاردنر و نوپوف (۱۹۷۴)، کیلیس- بروک و همکاران (۱۹۸۰) و ریزنبرگ (۱۹۸۵) وجود دارد. مدل اولیه پنجره های زمانی و مکانی انتخاب شده در این پژوهش، روش کیلیس- بروک و همکاران (۱۹۸۰) بوده است (جدول ۳) (Keilis-Borok, 1980).

جدول ۳: پنجره‌های زمانی و مکانی برای حذف پیش‌لرزه و پس‌لرزه‌ها از بانک داده‌های زمین‌لرزه

فاصله (کیلومتر)	پنجره زمانی	محدوده بزرگا
۳۰	۲۳ روز	۰/۰۰ - ۳/۴۹
۳۰	۴۶ روز	۳/۵۰ - ۳/۹۹
۳۰	۹۱ روز	۴/۰۰ - ۴/۴۹
۴۰	۱۸۲ روز	۴/۵۰ - ۵/۴۹
۵۴	۱ سال	۵/۵۰ - ۶/۴۹
۷۰	۲ سال	۶/۵۰ - ۸/۰۰

پس از حذف پیش‌لرزه‌ها و پس‌لرزه‌ها، تعداد سالیانه زمین‌لرزه‌های رویداده در محدوده ۱۵۰ کیلومتری پیرامون ساختگاه، برای محدوده زمانی داده‌های تکمیلی به روش مجذور کای، مورد آزمون پواسون گرفت. با توجه به شمار پایین داده‌های اضافه شده در این مرحله این توزیع همچنان در سطح ۵ درصد با توزیع پواسون همخوان بود.

۴-۷- برآورد پارامترهای لرزه‌خیزی با استفاده از روش K-S-G

پارامترهای لرزه‌خیزی گستره طرح بر پایه آخرین فهرست داده‌ها با استفاده از روش کیکو- سلولول- گراهام (۲۰۰۱) بروز شده است که نتایج آن برای گستره ۱۵۰ کیلومتری پیرامون ساختگاه به شرح زیر می‌باشد.

RESULTS RESULTS

=====

$$(Beta = 3.32 + 0.15 \quad (b = 1.44 + 0.06)$$

$$(\Lambda = 2.02 + 0.14 \quad (\text{for } M_{min} = 4.30)$$

$$(M_{max} = 7.40 + 0.30 \quad (\text{for } SIG(X_{max}) = 0.30)$$

همانطور که مشاهده می‌گردد که بیشینه بزرگای محاسباتی برای شعاع ۱۵۰ کیلومتری پیرامون ساختگاه طرح، ۷/۴ است که همخوان با توانمندی چشمه‌های لرزه‌زای این محدوده می‌باشد. ضریب Beta نیز در شعاع ۱۵۰ کیلومتری ساختگاه، بر اساس روش مذکور ۳/۳۲ برآورد شده است.

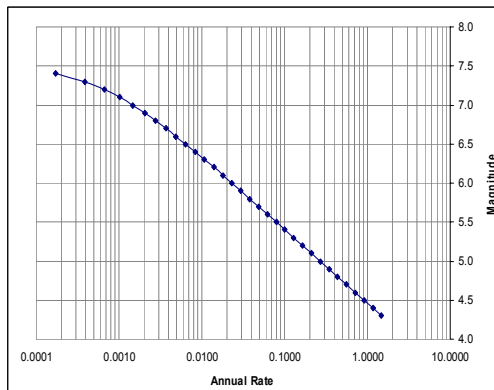
۵-۷- تحلیل دوره بازگشت زمین‌لرزه‌ها در گستره طرح

پس از محاسبه پارامترهای لرزه‌خیزی با استفاده از روش کیکو- سلولول- گراهام دوره بازگشت زمین‌لرزه‌ها برای گستره طرح و پیرامون آن برآورد شده است. دوره بازگشت بزرگا، برای گستره ۱۵۰ کیلومتری پیرامون ساختگاه در شکل (۴)، ارائه گردیده است. بر این اساس در گستره مورد مطالعه، برای دوره‌های بازگشت ۴۷۵، ۲۴۷۵ و ۱۰۰۰۰ سال، بزرگای زمین‌لرزه به ترتیب ۶/۹، ۷/۳ و ۷/۵ برآورد می‌گردد.

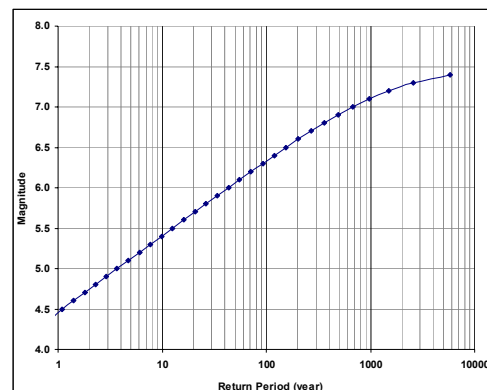
۶-۷- تحلیل آهنگ رویداد سالیانه زمین‌لرزه‌ها در گستره طرح

پس از دستیابی به دوره بازگشت زمین‌لرزه‌ها در محدوده ۱۵۰ کیلومتری پیرامون ساختگاه، 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 بدست آمده مربوط به مجموعه چشمه‌های لرزه‌زای محدوده ۱۵۰

کیلومتری پیرامون ساختگاه می باشد. با توجه به اهمیت و توانمندی گسل های مرتبط با هر یک از چشمه های باریکه ای، فاصله تا ساختگاه، بیشینه بزرگای منتسب به هر یک از این گسل ها، پس زمینه لرزه خیزی منطقه و بر پایه قضاوت مهندسی، نسبتی از مقادیر بدست آمده به هر یک از آنها اختصاص داده می شود. در شکل (۵) آهنگ رویداد بزرگی زلزله به روش کیکو- سلول- گراهام در گستره طرح آورده شده است.



شکل ۵: آهنگ رویداد بزرگی زلزله به روش کیکو- سلول- گراهام در گستره مورد مطالعه



شکل ۴: نمودار دوره بازگشت زمین لرزه برای گستره مورد مطالعه با استفاده از روش (K-S-G)

۸- تحلیل خطر زمین لرزه

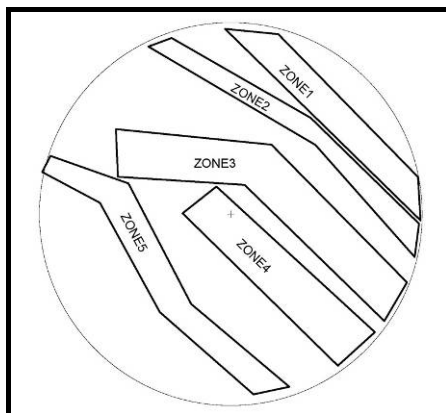
جنبش نیرومند زمین در یک ساختگاه توسط تحلیل خطر زمین لرزه برآورد می گردد. به طور کلی تحلیل خطر زمین لرزه می تواند به دو صورت روش تعیینی و روش احتمالاتی انجام گیرد. در روش تعیینی به طور معمول یک زمین لرزه کنترل گر بر حسب بزرگی و فاصله از ساختگاه در نظر گرفته می شود. این زمین لرزه به طور کلی زمین لرزه ای است که بیشینه جنبش نیرومند زمین را در ساختگاه ایجاد می کند. در روش احتمالاتی با یک مدل، شامل اطلاعات زمین شناسی، لرزه خیزی و کاهیدگی، بیشینه جنبش نیرومند زمین برای دوره های زمانی و درصد های خطر پذیری متفاوت برآورد می شود. به طور کلی تحلیل خطر زمین لرزه شامل چهار مرحله پایه است.

- شناسایی چشمه ها
- تعیین زمین لرزه کنترل گر
- گزینش یک رابطه کاهیدگی
- محاسبه پارامتر یا پارامترهای جنبش نیرومند زمین

۸-۱- شناسایی چشمه ها و ارائه مدل چشمه های لرزه ای

برای انتخاب مدل ریاضی چشمه های لرزه زا، نظریات و سلاقی متفاوتی وجود دارد و متاسفانه آیین نامه یا روش استاندارد خاصی در این مورد تهیه نگردیده است. مدل چشمه های نقطه ای، به دلیل عدم قطعیت زیاد مکانیابی زمین لرزه ها و وجود گاف های زمانی در ثبت زمین لرزه ها از دقت مناسب برخوردار نمی باشد. مناسب ترین روش انتخاب مدل پهنه ای (باریکه ای) بر پایه تصویر افقی تقاطع صفحات گسلش با لایه لرزه زا و در نظر گرفتن پس زمینه لرزه خیزی محدوده مورد مطالعه (Back Ground Seismicity) برای لحاظ نمودن اثر زمین لرزه شناور و گسل های پنهان می باشد، که امروزه در اینگونه مطالعات کاربرد گسترده ای دارد. برای دستیابی به مقادیر بیشینه جنبش نیرومند زمین به روش احتمالاتی، پهنه هایی در محدوده زون های گسلش گسل های لرزه زا، به عنوان چشمه های لرزه ای انتخاب و

آهنگ رویداد زمین‌لرزه‌ها با توجه به توانمندی فعالیت گسل‌های واقع در آن‌ها و بیشینه بزرگای منتسب به آن‌ها و بر پایه قضاوت مهندسی، به هر یک از آن چشمه‌ها نسبت داده می‌شود (شکل ۶).



شکل ۶: مدل چشمه‌های پهنه‌ای انتخابی در گستره مورد مطالعه

۸-۲- تعیین زمین‌لرزه کنترل‌گر

در گستره طرح بر پایه روابط تجربی ارائه شده توسط مهاجر اشجعی و نوروزی (۱۹۷۸)، آمبرسیز و ملویل (۱۹۸۲)، نوروزی (۱۹۸۵) و ولز و کوپراسمیت (۱۹۹۴) مقادیر بیشینه بزرگا محاسبه و در جدول (۴) ارائه گردیده‌اند (Mohajer-Ashjai and Nowroozi, 1978; Nowroozi, 1985).

در بیشتر آیین‌نامه‌های ملی ساختمان (آیین‌نامه طرح ساختمان‌ها در برابر زلزله ۱۳۸۴)، زمین‌لرزه‌ای با دوره بازگشت ۴۷۵ سال به عنوان زمین‌لرزه کنترل‌گر معرفی می‌شود. برای تاسیسات حیاتی و بحرانی مانند نیروگاه‌ها، سدها و ساختمان‌های بلند، زمین‌لرزه کنترل‌گر بطور معمول به صورت بیشینه بزرگای زمین‌لرزه‌ای که چشمه قادر به تولید آن است تعریف می‌شود. در این پژوهش بر اساس مطالعات صورت گرفته این زمین‌لرزه، دارای بزرگای ۷/۴ می‌باشد.

۸-۳- گزینش رابطه کاهیدگی

گام بعدی در برآورد خطر زمین‌لرزه، یافتن رابطه‌ای مناسب برای محاسبه تاثیر این چشمه‌های لرزه‌زا، با توجه به آهنگ لرزه‌خیزی و فاصله آن‌ها تا ساختگاه می‌باشد. متداول‌ترین روش در این زمینه استفاده از روابط کاهیدگی می‌باشد. روابط کاهیدگی بیان‌کننده کاهش دامنه جنبش زمین نسبت به افزایش فاصله از چشمه می‌باشند. در ساده‌ترین اشکال، پارامترهای جنبش زمین که از یک توزیع نرمال لگاریتمی پیروی می‌کنند، بصورت تابعی از بزرگا و فاصله از چشمه لرزه‌زا بیان می‌شوند. اغلب روابط دارای شکل اصلی زیر می‌باشند (Douglas, 2001):

$$\text{Log}(Y) = \text{Log} [b_1 F_1(M) + F_2(R) + F_3(M,R) + F_4(P_i) \dots + e]$$

که در آن Y پارامتر جنبش نیرومند زمین می‌باشد، $F_1(M)$ تابعی از بزرگا، $F_2(R)$ تابعی از فاصله R ، $F_3(M,R)$ تابع ترکیبی از بزرگا و فاصله و $F_4(P_i)$ تابع تاثیر پارامترهای دیگر زمین‌لرزه شامل مسیر عبور موج، تاثیر ساختگاه و سازه و e متغیر خطای تصادفی می‌باشد.

ضرایب این رابطه از رگرسیون داده‌های زمین‌لرزه‌های ثبت شده استنتاج می‌گردد. با افزودن داده‌های جدیدتر، این روابط به مرور تدقیق می‌گردند.

جدول ۴: بیشینه بزرگا قابل انتظار حاصل از فعالیت گسل‌های اصلی و فعال گستره طرح

No	Fault Name	Fault T.L (Km)	Fault L.R. (Km)	Max. Magnitude				
				1	2	3	4	Avg.
1	Khalaj(Lahbari)	>85	42	7.0	6.9	7.0	7.0	7.0
2	Dezful	57	51	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1
3	Rit	32	29	6.9	6.7	6.8	6.8	6.8
4	M.F.F.	>80	65	7.2	7.2	7.2	7.2	7.2
5	Kurnas	25	24	6.8	6.6	6.7	6.7	6.7
6	Pir Ahmad	30	28	6.8	6.7	6.8	6.8	6.8
7	Lali	35	32	6.9	6.8	6.9	6.8	6.8
8	Zardkuh	130	88	7.3	7.4	7.4	7.3	7.4
9	Shirkan	78	65	7.2	7.2	7.2	7.2	7.2
10	Dehgulan	45	40	7.0	6.9	7.0	6.9	7.0
11	Shushtar	65	55	7.1	7.1	7.2	7.1	7.1
12	Masjed-Soleyman	30	28	6.8	6.7	6.8	6.8	6.8
13	Andikan	60	52	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1
14	Mishdagh	38	35	6.9	6.8	6.9	6.9	6.9
15	Cheshmeh-Khosh	50	45	7.1	7.0	7.0	7.0	7.0
16	Dasht-e-Gol	25	24	6.8	6.6	6.7	6.7	6.7
17	Chini	12	12	6.5	6.2	6.3	6.3	6.3
18	Golestan	27	25	6.8	6.6	6.7	6.7	6.7
19	Tugah	18	18	6.7	6.4	6.6	6.5	6.5
20	Kidi	15	15	6.6	6.3	6.5	6.4	6.4
21	Dal-e-Pari	16	16	6.6	6.3	6.5	6.5	6.5
22	Karenj	35	32	6.9	6.8	6.9	6.8	6.8
23	H.Z.F	>100	76	7.3	7.3	7.3	7.3	7.3

Magnitude calculated based on: (1) Mohajer-Ashjai, A. & Nowroozi, A. A. (1978), (2) Ambraseys, N. N. & Melville, C. P. (1982), (3) Nowroozi, A. A. (1985) and (4) Wells, D. L. & Coppersmith, K. J. (1994) equations. Fault T.L : Total Length of Fault, Fault L.R. : Length of Rupture of Fault

انتخاب مناسب‌ترین مدل از میان مدل‌های مختلف کاهیدگی جنبش نیرومند زمین، با توجه به معیارهایی چون فاصله از چشمه‌های لرزه‌زا، بزرگای زمین‌لرزه‌ها، ژرفای کانونی زمین‌لرزه‌های اصلی، نوع زمین محدود طرح، ساز و کار چیره چشمه‌های لرزه‌زا و خطای استاندارد صورت می‌گیرد.

از میان روابط معتبر موجود در نهایت سه رابطه کمپبل - بزرگنیا (۲۰۰۳)، آمبرسیز - داگلاس - سامرز - اسمیت (۲۰۰۵) و زارع - سبزی علی (۲۰۰۴) انتخاب گردیدند. از مزایای این روابط می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

الف - استفاده از داده‌های زمین‌لرزه‌های ایران به شرح زیر:

- آمبرسیز و همکاران: شتاب‌نگاشت‌های زمین‌لرزه‌های طبس، منجیل، ماکو، زنجیران و اوج.
- کمپبل و بزرگنیا: شتاب‌نگاشت‌های زمین‌لرزه‌های طبس و منجیل.
- زارع - سبزی علی: مجموعه داده‌های شتاب‌نگاری ایران (با تفکیک زاگرس، ایران مرکزی و البرز)
- ب- امکان محاسبه هر دو مؤلفه شتاب‌های افقی و قائم.

ج- در نظر گرفتن مقیاس مناسب بزرگای گشتاوری M_w به عنوان مقیاس بزرگای در روابط.

در محاسبات نهایی با استفاده از روش درخت منطقی، با توجه به کاستی‌های موجود در داده‌های زمین‌لرزه‌های ایران و بروزنمایی‌های کمتر و ارائه مقادیر بیش از حد محافظه‌کارانه برای فواصل زیاد، وزن بیشتر برای دو رابطه کمپبل - بزرگنیا و آمبرسیز و همکاران در نظر گرفته شده (۵۰٪ و ۳۰٪) و به رابطه زارع - سبزی علی ۲۰٪ وزن داده شد.

۸-۴- برآورد خطر زمین‌لرزه به روش تعیینی در گستره طرح

در تحلیل خطر زمین‌لرزه به روش تعیینی بدون در نظر گرفتن سایر پارامترهای جانبی و پیچیده مرتبط با علم لرزه‌شناسی تنها به علت اصلی زمین‌لرزه یعنی چشمه‌های اصلی لرزه‌زا (گسل‌ها) و شدیدترین حالت لرزه‌خیزی از میان آن‌ها پرداخته می‌شود. به عبارت دیگر در این روش این دیدگاه مورد توجه است که اگر طراحی لرزه‌ای برای وخیم‌ترین حالت صورت گیرد، ایمنی مورد نظر برای ساختگاه مورد مطالعه در مقابل خطر زمین‌لرزه به صورت محافظه‌کارانه بدست خواهد آمد. شاید مهم‌ترین نقطه ضعف‌های این روش نسبت به روش احتمالی عدم امکان وارد نمودن عمر مفید سازه و جواب‌های محافظه‌کارانه حاصل از آن می‌باشد.

لذا با در نظر گرفتن هر یک از چشمه‌های خطی لرزه‌زا در گستره طرح، بیشینه مقادیر پارامتر شتاب جنبش نیرومند زمین در محل سد با استفاده از روابط کاهیدگی انتخاب شده محاسبه شده است. توان لرزه‌زایی هر یک از گسل‌ها با استفاده از روابطی که بزرگا را با طول گسل همبسته می‌سازد محاسبه شده و یا در صورت وقوع رویدادهای واقعی لرزه‌ای متناسب با آن بزرگای آن زمین‌لرزه‌ها در نظر گرفته می‌شوند. در جدول (۵) نتایج حاصل از برآورد بیشینه مقدار شتاب جنبش زمین در گستره مورد مطالعه به روش تعیینی برآورده شده است.

جدول ۵: بیشینه مقدار شتاب جنبش زمین محاسبه شده پیرامون ۱۵۰ کیلومتری ساختگاه

نام گسل	فاصله تا ساختگاه	بیشینه شتاب افقی (g)				بیشینه شتاب قائم (g)			
		1 (50%)	2 (30%)	3 (20%)	Ave.	1 (50%)	2 (30%)	3 (20%)	Ave.
خلج	۲ کیلومتر	0.720	0.783	0.512	0.697	0.557	0.760	0.508	0.618

(1) Campbell & Bozorgnia 2003, (2) Amberseys et al 2005, (3) Zare et al 2004

۸-۵- برآورد خطر زمین‌لرزه به روش احتمالاتی در گستره طرح

در روش احتمالی خطر زمین‌لرزه، تحلیل بر پایه تمامی حالات ممکن از مقادیر ممکن بزرگای زمین‌لرزه حاصل از توان لرزه‌زایی چشمه‌های مدل شده لرزه‌زا در گستره مورد نظر و در کلیه فاصله‌های ممکن از ساختگاه مورد مطالعه با در نظر گرفتن هر ترکیب و به کمک برنامه‌های نرم‌افزاری انجام می‌گیرد. در نتیجه با استفاده از روش احتمالی امکان برآورد پتانسیل جنبش نیرومند زمین با در نظر گرفتن احتمال فزونی مشخص میسر می‌گردد. همچنین در این روش این امکان وجود دارد که عدم قطعیت‌های هر یک از پارامترها تخمین زده شده و به صورت کمی در آید و تحلیل‌های خطر زمین‌لرزه به منظور برآورد واقعی‌تر از ماهیت لرزه‌خیزی جنبش نیرومند زمین وارد محاسبات شوند.

راهکار مورد استفاده در تحلیل خطر زمین‌لرزه بر پایه مدل کرنل (۱۹۶۸ و ۱۹۷۱) و مک‌گایر (۱۹۷۶ و ۱۹۷۸) و با استفاده از روش بندر و پرکینز (۱۹۸۷) بوده است. در این روش پس از تعیین چشمه‌های لرزه‌زای محدوده مورد مطالعه، آهنگ رویداد زمین‌لرزه‌ها برای این چشمه‌ها محاسبه و مشخص گردیده و با محاسبه بیشینه شتاب حاصل از چشمه‌های متفاوت، دوره بازگشت بیشینه جنبش نیرومند زمین برای محدوده ساختگاه مورد مطالعه محاسبه شده است. در استفاده از روش بندر و پرکینز (۱۹۸۷) و نرم‌افزار مربوطه (Seisrisk III)، این موارد باید مد نظر قرار گیرند (بندر و پرکینز، ۱۹۸۷؛ کرنل، ۱۹۶۸):

- عدم قطعیت موقعیت چشمه‌های لرزه‌زا.

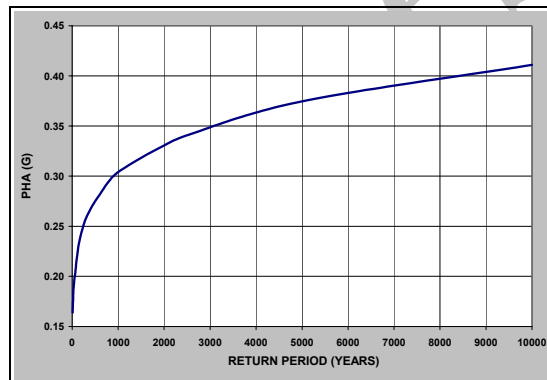
- همگنی توزیع داده‌های زمین‌لرزه در پهنه چشمه لرزه‌زا.

بیشینه شتاب افقی در سطح ۸۴ صدک روابط کاهیدگی، برای ساختگاه سد جریانی دز، محاسبه گردیده است.

نتایج این محاسبات در جدول (۶) به همراه منحنی خطر مرتبط (شکل ۷)، مشاهده می‌گردد.

جدول ۶: بیشینه شتاب افقی روابط مختلف کاهیدگی و میانگین آن‌ها برای ساختگاه سد

Return Period (Year)	AMB etal 84% (2005)	Cam&Bozo. 84% (2003)	Zare&Sabzali 84% (2004)	Weighted Average 84%
10	0.123	0.194	0.150	0.164
25	0.138	0.211	0.183	0.184
35	0.144	0.217	0.195	0.191
50	0.152	0.222	0.207	0.198
75	0.162	0.227	0.222	0.207
100	0.184	0.231	0.236	0.218
150	0.216	0.236	0.254	0.234
250	0.251	0.242	0.275	0.251
350	0.271	0.247	0.290	0.263
475	0.288	0.252	0.304	0.273
600	0.300	0.256	0.318	0.282
800	0.314	0.260	0.333	0.291
1000	0.323	0.269	0.345	0.300
1500	0.340	0.287	0.364	0.318
2000	0.350	0.300	0.378	0.331
2475	0.357	0.311	0.389	0.340
5000	0.379	0.350	0.430	0.375
10000	0.404	0.392	0.469	0.411



شکل ۷: میانگین بیشینه شتاب افقی و برای دوره‌های بازگشت متفاوت برای ساختگاه سد

۹- نتیجه‌گیری و ارائه پیشنهادات

- بر پایه بررسی‌های انجام شده، بیشینه شتاب‌های افقی و قائم برای سطوح طراحی پیشنهادی به شرح جدول زیر می‌باشد:

سطح طراحی پیشنهادی	دوره بازگشت (سال)	بیشینه شتاب افقی (g)	بیشینه شتاب قائم (g)
OBL	۱۵۰	۰/۲۳۴	۰/۱۵۶
DBL	۴۷۵	۰/۲۷۳	۰/۱۸۲
MDL	۲۰۰۰	۰/۳۳۱	۰/۲۲۰
MCL	اثر گسل خلیج	۰/۶۹۷	۰/۶۱۸

- به منظور مشاهده عملکرد سدها، پی، تجهیزات وابسته و تکیه‌گاه‌های آن تحت شرایط متفاوت هنگام وقوع زمینلرزه و بهینه‌سازی شکل و طراحی سدها نصب شبکه‌های رفتارنگاری لرزه‌ای سدها از اهمیت خاص برخوردار بوده

و لازم است تا با توجه به توصیه‌ها و رهنمودهای جهانی به خصوص بولتن‌های مختلف کمیته بین‌المللی سدهای بزرگ در صورت نیاز گستره پیرامون سدها با نصب شبکه‌های لرزه‌نگاری و شتابنگاری مورد مطالعه قرار گیرند. در این راه ابعاد سد و مخزن آن دارای اهمیت بسیار می‌باشد، به طوری که هر چه سد بلندتر بوده و مخزن آن بزرگتر و عمیق‌تر باشد پتانسیل ایجاد زمین‌لرزه‌های القائی و احتمال خسارت ناشی از وقوع زمین‌لرزه بیشتر شده و در نتیجه باید توجه بیشتری به پایداری آن شود. به طور کلی برای رفتارنگاری لرزه‌ای سدها از دو شبکه لرزه‌نگاری و شتابنگاری استفاده می‌شود. هدف اصلی از نصب شبکه لرزه‌نگاری، رفتارنگاری تغییرات فراوانی و توزیع رویداد زمین‌لرزه‌ها پیش و پس از آبگیری و بررسی احتمال وقوع رویدادهای لرزه‌ای معروف به زمین‌لرزه‌های برانگیخته شده ناشی از آبگیری- تخلیه مخزن سد می‌باشد.

۱۰- منابع

۱. آرین، م.، ۱۳۸۹، لرزه زمین ساخت کاربردی، مرکز پژوهشی فرازمین، ۳۰۴ صفحه.
۲. آقانباتی، ع.، ۱۳۸۳، زمین‌شناسی ایران. سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
۳. آمبرسز، ن. و ملویل، ج. پ.، ۱۳۷۰، «تاریخ زمین‌لرزه‌های ایران»، ترجمه ابوالحسن رده، انتشارات آگاه، ۶۷۴ صفحه.
۴. آیین‌نامه طرح ساختمان‌ها در برابر زلزله، ۱۳۸۴، مجموعه آیین‌نامه‌های ساختمانی ایران، شماره استاندارد: ۲۸۰۰، نشریه ض- ۲۵۳، ویرایش سوم، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن.
5. Bender, B. and Perkins, D., 1987, A computer program for seismic hazard estimation, SEISRISK III. US Geological Surv. Bull. 1772.
6. Cornel, C.A., 1968, Engineering Seismic Risk analysis Bull. Seism. Soc. Am., 58, 1583-1606.
7. Gutenberg, B. and Richter, C.F., 1944, Frequency of earthquakes in California. Bull. Seism. Soc. Am., 34, 185-188.
8. Douglas, J., 2001, 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.
9. Kanamori, H., 1979, A semi-empirical approach to prediction of long – period ground motion from great earthquakes. Bull. Seism. Soc. Am., 69, 1645-1670.
10. Kijko, A., 2004, Estimation of the maximum earthquake magnitude, Mmax. Pure and Applied Geophysics. 161,1-27.
11. Keilis-Borok, V.I.; Knopoff L. and Rotwain, I.M., 1980, Bursts of aftershocks, long-term precursors of strong earthquakes. Nature, 283, 258-63.
12. Mirzaei, N., Gao, M. and Chen, Y.T., 1998, Seismic source regionalization for seismic zoning of Iran: major seismotectonic province. Journal of earthquake prediction research. , 7,465-495
13. Mohajer-Ashjai, A. and Nowroozi, A.A., 1978, Observed and probable intensity zoning of Iran. Tectonophysics, 49, 149-160.
14. Nogol e Sadat, M.A.A., 1994, Quaternary map of Iran. 1:2000000, Treatise on the geology of Iran, Geol. Surv. Iran.
15. Nowroozi, A.A., 1985, Empirical relations between magnitudes and fault parameters for earthquakes in Iran. Bull. Seism. Soc. Am., 75, 5, 1327-1338.