فصلنامه زمین، سال هفتم، شماره ۲۴، تابستان ۱۳۹۱

لرزه‌خیزی و برآورد خطر زمین‌لرزه در ساختگاه سد آلان

سادات اشرف آبادی[۱] و دکتر محمدرضا قیطانچی[۲]

چکیده

مطالعات لرزه‌خیزی و برآورد خطر زمین‌لرزه در پروژه‌های سدسازی بمنظور شناخت بهتر زمین‌شناسی و زمین‌ساختی محل اجرای پروژه، جزء لاینفک تمامی بررسیها است. به این منظور پس از شناسایی مهمترین چشمه‌های لرزه‌زا و پیشینه لرزه‌خیزی گستره، با انجام مطالعات تحلیل خطر زمین‌لرزه، بیشینه مقادیر پارامترهای جنبش نیرومند زمین برای کنترل طراحی سد و سازه‌های وابسته به آن در مقابل خطر زمین‌لرزه محاسبه و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. مهمترین پارامتر مورد نظر جنبش نیرومند زمین که به منظور کنترل طراحی سد در مقابل خطر زمین‌لرزه مورد استفاده قرار می‌گیرد، بیشینه مقدار شتاب جنبش نیرومند زمین می‌باشد که به روشهای مختلف احتمالی و قطعی محاسبه می‌گردد. بر اساس محاسبات انجام شده، شتاب طرح منطقه معادل ۰/۳g برآورد گردیده که در آیین نامه ۲۸۰۰ مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن ایران، جزء مناطق با خطر زمین‌لرزه زیاد قرار می‌گیرد.

کلید واژه‌ها: لرزه‌خیزی، برآورد خطر زمین‌لرزه، سد آلان

Seismicity and Seismic Hazard Analysis of Alan Dam Site

Sadat Ashrafabadi and Dr. Mohammad Reza Ghaeitanchi

Abstract

The seismicity and seismic hazard analysis studies of dam projects is highly necessary in order to better understanding of the geology and geotectonic of the site region. The results from the seismology can support and evaluate the obtained parameters in the region. This study deals with the pattern of seismicity and the seismic hazard analysis in the study region of the Alan dam site. For this purpose, after identification of potential sources and background of seismicity in the region, by seismic hazard analysis, the maximum values of ground motion parameters were calculated. This was done in order to control the dam design and the related structures for the seismic hazard assessment. The most important controlling parameter of motion that was determined by deterministic and probability methods. According to this studies strong ground motion for seismic hazard assessment, is the pick strong ground the ground motion acceleration of the Alan dame site is 0.3g that is high in Iranian building standard.

Keywords: seismicity, seismic hazard analysis, Alan dam

۱ـ دانشجوی کارشناسی ارشد ژئوفیزیک دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال
۲ـ استاد زلزله شناسی موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران

Archive of SID
www.SID.ir

مقدمه

امروزه با پیشرفت علوم مهندسی و شناخت بیشتر ما از طبیعت، امکان بررسی حرکات پوسته زمین به جهت شناخت رخدادهای آتی فراهم شده است. هر چند که پیش بینی زمان رویداد حرکات پوسته هنوز تا حدودی ناممکن بنظر می‌رسد.

هزینه‌های بسیار بالای احداث سازه‌های مهمی چون سدها، نیروگاهها و برجهای مرتفع، نیاز مبرم به مطالعات برآورد خطر زمین‌لرزه و لرزه‌زمین‌ساخت را بخوبی توجیه می‌نماید. زیرا با صرف وقت و هزینه بسیار کمتری نسبت به عملیات اجرای سازه‌ها، می‌توان بگونه‌ای مطمئن‌تر راجع به نوع طراحی و یا تعیین محل احداث آنها اقدام نمود.

تخریب هر یک از سازه‌های فوق الذکر علاوه بر ایجاد خسارات مالی فراوان، موجب بوجود آمدن زیانهای جانی و انسانی غیر قابل جبران نیز خواهد شد. لذا انجام پژوهشهای لرزه زمین ساخت و برآورد خطر زمین لرزه بوسیله پژوهشگران و به کار بردن نتایج بدست آمده در طراحی و مقاوم‌تر نمودن سازه‌ها، بسیار حائز اهمیت است.

بررسی حاضر به منظور دستیابی به پارامترهای برآورد خطر زمین‌لرزه و لرزه‌زمین‌ساخت گستره و سد آلان واقع در منطقه کبودر آهنگ استان همدان اختصاص دارد.

موقعیت جغرافیایی طرح

ساختگاه سد آلان حدودا" در طول جغرافیایی ۴۸ ۱۳ شرقی و عرض جغرافیایی ۳۵ ۱۸ شمالی قرار گرفته است. نوع سد خاکی با هسته رسی و ارتفاع از پی سد ۱۸ متر می‌باشد. حجم مخزن آن ۵ میلیون متر مکعب خواهد بود و آب آن به مصرف اراضی کشاورزی همجوار اختصاص خواهد یافت (پایگاه اینترنتی آب منطقه‌ای همدان).

این سد بر روی رودخانه شور که از نوع رودخانه‌های فصلی می‌باشد، قرار خواهد گرفت و در ۵۴ کیلومتری شمال غربی شهر همدان و نزدیکترین شهر به آن بنام گل تپه می‌باشد.

ویژگی‌های زمین‌شناسی

محتوی سنگی ساختگاه سد آلان شامل میکاشیست‌ها و اسلیت‌هایی است که در رخساره شیست سبز دگرگونی فشار و حرارت متوسط را تحمل کرده‌اند. در چند مرحله دایکهایی از جنس غالباً گابرو محور رودخانه را قطع کرده که نشان از دایک بودن آنهاست. این دایک‌ها نشان از شرایط حاکمیت دگر ریختی غیر هم محور یا امتداد لغز در ناحیه است و کوتاه شدگی بصورت محلی تقریباً همسو با این دایک‌ها می‌باشد.

ساحل چپ رودخانه به لحاظ ارتفاع در رقوم بالاتری از ساحل راست قرار دارد این ناهنجاری به فرایندهای فرسایشی مرتبط است که توانسته‌اند بازالت‌های دیرفرسای ساحل چپ را که بعنوان پوششی استوارتر روی میکاشیستها را پوشانده کمتر فرسوده کنند.

Archive of SID

www.SID.ir

شکل ۱ـ بازالت‌های تکیه گاه چپ بر روی سنگهای جوان‌تر

محور رودخانه با دره‌ای عریض فرسایشی در جایگاه یک بین لایه نرم مشخص می‌شود و ضخامت آبرفت در گستره رودخانه، بالا به نظر میرسد و در ارزیابی خطر زمین‌لرزه بهتر است که مجموعه سنگی پی و تکیه‌گاه بعنوان سنگ نرم محسوب شود (بلورچی،۱۳۵۸).

زمین‌ساخت و لرزه‌زمین‌ساخت

برای تعیین هر چه دقیق‌تر خطر زمین‌لرزه لزوماً بایستی عناصر ساختاری نزدیک به ساختگاه و فرآیندهای زمین ساختی گستره ساختگاه شناسایی شوند. تعیین محل رو مرکز سطحی زمین‌لرزه‌ها، ساز و کار ژرفی و کانونی آنها، مطالعات آماری رویداد زمین‌لرزه‌ها و مطالعات ساختاری پوسته زمین، ارائه مختصری از زمین‌ساخت ناحیه و نهایتاً زمین‌شناسی سطح الارضی منجر به شناسایی چشمه‌های زمین‌لرزه‌ای می‌شود که در چهارچوب فرآیندهای نو زمین‌ساختی و زمین‌ساختی توجیه‌پذیرند.گستره مورد مطالعه شامل چین‌های شمال غربی و جنوب شرقی در پهنه سنندج ـ سیرجان قرار دارد که اکثراً در سازندهای با سن اولیگومیوسن شکل گرفته‌اند. گسلهای منطقه غالباً روند شمال غرب ـ جنوب شرق دارند. به نظر می‌رسد که گستره مورد مطالعه در ایران مرکزی در محدوده البرز و زاگرس به تله افتاده است. البته ایجاد سفره‌های رورانده در طی برخورد و بعد از آن ضخامت بالای پوسته را در این منطقه به همراه دارد. متوسط بالای رقوم ارتفاعی منطقه با وجود چین خوردگی‌های ملایم تاثیر فازهای خشکیزایی در منطقه را در امتداد گسل‌های پی سنگی در دور دست به تایید می‌رساند. دستیابی به دانش مناسب از فرایندهای پویای پوسته و گوشته فوقانی نیاز به داده‌های دقیق درباره رخداد زمین‌لرزه‌ها و دوره بازگشت آنها در ناحیه دارد. مطالعه گسلهای فعال می‌تواند پایه‌ای برای بررسی‌های لرزه‌زمین‌ساختی 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 (یا فقدان اطلاعات لرزه‌ای مثلاً در محدوده ساختگاه سد)، چشمه برخی از زمین‌لرزه‌ها به بیش از یک گسل ارتباط داده شده است (آقا نباتی،۱۳۸۳).

برآورد ویژگی‌های لرزه‌خیزی گستره مورد طالعه

برای برآورد ویژگی‌های لرزه‌خیزی گستره مورد مطالعه از اطلاعات مربوط به زمین‌لرزه‌ها و روش‌های آماری ویژه‌ای استفاده می‌شود. به این منظور لازم است فهرست زمین‌لرزه‌ها در گستره‌های

Archive of SID

www.SID.ir

شعاعی و یا استانی لرزه‌زمین‌ساختی منطقه مورد مطالعه، گردآوری، انتخاب، تکمیل و پردازش گردند. سپس با استفاده از توابع توزیع انباشتی مناسب و روش‌های آماری نظیر کمترین مربعات و روش تکرار پارامترهای لرزه‌خیزی، گستره مورد نظر را با راهکار ارائه شده توسط گوتنبرگ ــ ریشتر، برازش مقادیر نهایی یا روش تخمین بیشینه درست نمایی برآورد نمود.

تهیه فهرست زمین‌لرزه‌ها و تکمیل بزرگا

گستره مورد مطالعه سد آلان در استانهای لرزه‌زمین‌ساختی زاگرس و ایران مرکزی واقع شده است و سرشت لرزه‌خیزی این دو استان متفاوت می‌باشد، ولی به لحاظ خطای رومرکز زمین‌لرزه‌های تاریخی و عدم قطعیت رویداد آن‌ها در مکان‌های معرفی شده، ضمن استفاده از نتایج ارایه شده در نشریه شماره ۱۲ کمیته ملی سدهای بزرگ ایران تحت عنوان" استانهای لرزه‌زمین‌ساخت ایران‌زمین " اقدام به گردآوری رویداد زمین‌لرزه‌ها در گستره ۲۰۰ کیلومتری ساختگاه شده است.

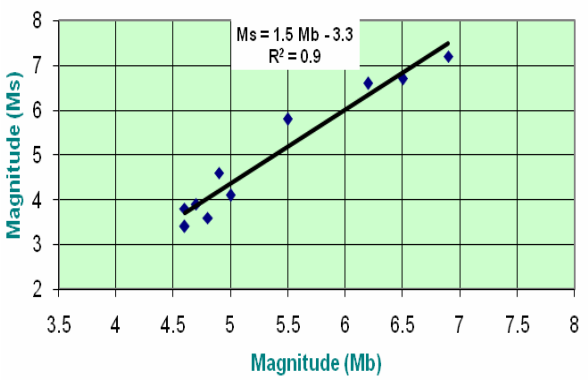
هرچند این داده‌ها از دو استان لرزه‌زمین‌ساختی می‌باشند، اما با توجه به عدم قطعیت رو مرکز زمین‌لرزه‌های نزدیک به مرز این دو استان لرزه‌زمین‌ساختی، می‌توان بدون رعایت این تقسیم‌بندی به برآورد پارامترهای مناسب لرزه‌خیزی برای انجام تحلیل خطر زمین‌لرزه اقدام نمود.

فهرست زمین‌لرزه‌ها شامل سه ستون برای بزرگا، به ترتیب بزرگای امواج سطحی (Ms)، بزرگای امواج حجمی (Mb) و یا سایر بزرگای زمین‌لرزه‌ها می‌باشد. معمولا در محاسبات مربوط به برآورد پارامترهای لرزه‌خیزی و یا تحلیل خطر زمین‌لرزه از یک نوع بزرگا بیشتر بر مبنای (Ms) و یا در موارد خاص از (Mb) استفاده می‌شود.

در این بررسی با استفاده از زمین‌لرزه‌هایی که برای آن هر دو بزرگای (Ms,Mb) گزارش شده و با به کارگیری روش آماری کمترین مربعات و یافتن معادله بهترین خط از میان آنها فهرست زمین‌لرزه‌ها برای بزرگای (Ms) تکمیل شده است. به این منظور گستره ۲۰۰ کیلومتری پیرامون ساختگاه مورد مطالعه در نظر گرفته شده و با حذف داده‌های نامناسب رابطه زیر از میان ۸۰ جفت بزرگای زمین‌لرزه‌ها حاصل شده است (شکل ۲).

$$Ms = 1.5\ Mb - 3.3$$

ضریب همبستگی این رابطه ($R = 0.9$) و برابری بزرگای(Ms , Mb) در مقدار 5.9 می‌باشد که از نظرآماری و همچنین روابط موجود در مطالعات لرزه‌خیزی، نتایج قابل قبولی را بدست می‌دهد.



شکل ۲ـ نمودار درون‌یابی خطی بین Ms و Mb و معادله خط مذبور در گستره ۲۰۰ کیلومتری سد آلان

Archive of SID

www.SID.ir

روشهای برآورد خطر زمین‌لرزه

هدف از برآورد خطر زمین‌لرزه ارزیابی منطقی پارامترهای جنبش زمین (بیشنه شتاب، بیشینه شدت و غیره) در ساختگاه مورد نظر، براثر رویداد زمین‌لرزه در چشمه‌های بالقوه زمین‌لرزه در مدت زمانی معین که معمولا عمر مفید سازه است، می‌باشد. روشهای برآورد خطر زمین‌لرزه را می‌توان به سه دسته تقسیم نمود (میرزائی،۱۹۹۷). الف) روش تجربی ـ آماری، ب) روش قطعی و ج) روش احتمالاتی

برآورد خطر زمین‌لرزه با استفاده از روشهای تجربی ـ آماری

روشهای تجربی ـ آماری لازمه برآورد خطر زمین‌لرزه می‌باشند و اساس کار چنین است که با استفاده از آمار زمین‌لرزه‌های قبلی در یک ساختگاه و انتخاب یک مدل ریاضی، احتمال وقوع زمین‌لرزه‌های با بزرگی مشخص برآورد می‌شود. یکی از روشهای تجربی ـ آماری روش پایه گوتنبرگ[1] ـ ریشتر[2] می‌باشد. در این روش برپایه فراوانی رویداد زمین‌لرزه‌ها برحسب بزرگای آنها و با استفاده از روش‌های مختلف آماری، پارامترهای لرزه‌خیزی که همان ضرایب ثابت رابطه گوتنبرگ ـ ریشتر می‌باشد، محاسبه می‌شوند. با استفاده از رابطه گوتنبرگ ـ ریشتر بدست آمده برای منطقه، دوره بازگشت (T_R) زمین‌لرزه‌های با بزرگی مختلف را می‌توان با استفاده از رابطه (۲) تعیین نمود.

$$M = \left[\frac{a - Log(\frac{T_0}{T_R})}{b} \right] \qquad (۲)$$

در این رابطه T_0 مدت جمع آوری داده‌ها، a و b ضرایب رابطه گوتنبرگ ـ ریشتر بدست آمده می‌باشند. در جدول (۱) نتایج محاسبات مذکور برای منطقه نشان داده شده است.

دوره بازگشت (سال)	۱۰	۲۵	۵۰	۱۰۰	۲۰۰
بزرگی (Ms)	۶	۶/۶	۷/۱	۷/۵	۸

جدول ۱ـ دوره بازگشت زلزله بر اساس تابع گوتنبرگ ـ ریشتر در شعاع ۲۰۰ کیلومتری

روش دیگر تجربی ـ آماری توسط کیجکو[3] ـ سلوول[4] (۲۰۰۰ـ۱۹۸۸) ارائه شده است و دارای قابلیت‌های سودمندی در به کارگیری فهرست زمین لرزه‌های آمیخته و ناهمگون می‌باشد که باخصوصیات داده‌های لرزه‌ای کشور ایران متناسب است. در این روش همچنین توان به کارگیری توام زمین‌لرزه‌های تاریخی و ثبت شده دستگاهی سده بیستم با انجام دسته بندیهای مناسب با در نظر گرفتن خطای بزرگا، بزرگای آستانه و بزرگای حداکثر بصورت متفاوت برای هر دسته وجود دارد.

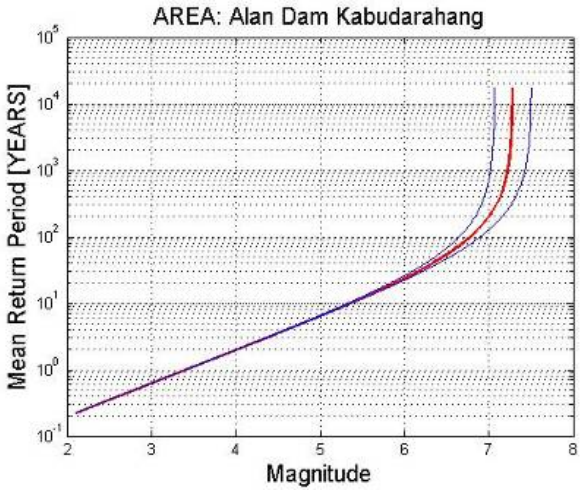
1- Gutenberg
2- Ritcher
3- Kijko
4- Sellevoll

Archive of SID

www.SID.ir

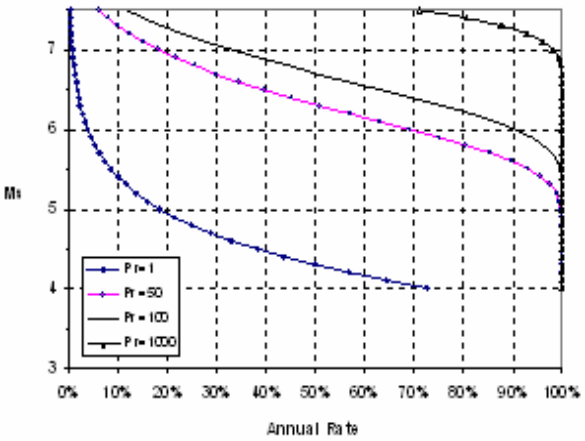
همچنین میتوان اثر نبودهای لرزه‌ای و یا کمبود اطلاعات را به نحوی در محاسبات وارد نمود. نتایج حاصل‌از به‌کارگیری این روش شامل تعیین پارامترهای لرزه‌خیزی یعنی ضرایب β و λ آهنگ لرزه‌خیزی، تعیین حداکثر بزرگای پذیرفتنی (Mmax)، تعیین دوره بازگشت، احتمال رویداد و عدم رویداد بزرگای زمین‌لرزه در دوره‌های زمانی متفاوت می‌باشد. به طور کلی در مقایسه با روش پایه گوتنبرگ ـ ریشتر و روش برازش مقادیر نهایی، نتایج حاصل از روش کیجکو ـ سلوول بسیار معتبرتر و دارای همخوانی بیشتر با موقعیت چشمه‌های لرزه‌زا و فعالیت آن‌ها است.

پراکندگی زمین‌لرزه‌ها و به کارگیری توام زمین‌لرزه‌های تاریخی و دستگاهی سده‌های بیستم و بیست و یکم یک امر لازم برای پارامترهای لرزه‌خیزی می‌باشد.



شکل۳ـ نمودار دوره بازگشت سالانه زمین‌لرزه‌ها بر اساس روابط کیجکو ـ سلوول در سد آلان

نمودار شکل(۳) بیانگر آن است که در گستره ۲۰۰ کیلومتری سد آلان، زمین‌لرزه‌ای با بزرگای (Ms) ۷ با استفاده از برآورد به روش کیجکو ـ سلوول در هر ۲۱۰ سال، یک مرتبه اتفاق خواهد افتاد. با انجام محاسبات بیشتر می‌توان منحنی‌های احتمال رویداد بزرگی زمین‌لرزه، در بازه‌های زمانی مورد نیاز (۱، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۰۰۰ سال) را تعیین نمود.



شکل۴ـ احتمال رویداد بزرگی زلزله در بازه‌های زمانی مختلف در گستره به شعاع ۲۰۰ کیلومتر بر اساس روش کیجکو

شکل ۴ که بر اساس برآورد به روش کیجکو ـ سلوول بدست آمده است نشان می‌دهد که در گستره ۲۰۰ کیلومتری ساختگاه سد آلان، بزرگای زمین‌لرزه‌ای با احتمال رویداد ۵ درصد در عمر مفید ۱۰۰ سال، ۷/۳ (Ms) برآورد می‌شود و بیشینه بزرگای زمین‌لرزه در گستره ۲۰۰ کیلومتری ساختگاه سد آلان زمین‌لرزه‌ای با بزرگای (Ms) ۷/۴ تخمین زده شده است.

Archive of SID

www.SID.ir

برآورد پارامترهای جنبش نیرومند زمین

جنبش نیرومند زمین بر اساس پارامترهای مختلفی که توصیف کننده اثرات ناشی از یک زمین‌لرزه می‌باشند، بیان می‌شود. پس از رویداد هر زمین‌لرزه مهم، ارزیابی‌های مجدد در معیارهای لرزه‌ای در طراحی و نحوه برآورد پارامترهای جنبش نیرومند زمین برای سازه‌های مهم انجام می‌شود.

بر این اساس و با توجه به مطالعات لرزه‌خیزی ساختگاه سد آلان، تحلیل‌های سازه‌ای براساس پارامترهای جنبش نیرومند زمین برای مولفه‌های افقی و قائم انجام می‌شود. به منظور برآورد این پارامترها در سطح، از دو روش قطعی و احتمالی استفاده می‌گردد. مواردی که لازم است در برآورد این پارامترها و تحلیل‌های خطر زمین‌لرزه به روش‌های بیان شده مورد توجه قرار گیرند، عبارتند از:

ـ انتخاب روابط کاهیدگی مناسب

ـ تهیه یک مدل از چشمه‌های مهم لرزه زا نسبت به ساختگاه

ـ برآورد توان لرزه‌زایی هریک از چشمه‌ها

ـ تخمین پارامترهای لرزه‌خیزی در گستره طرح همساز با فعالیت چشمه‌های لرزه‌زای شناسایی شده و به کارگیری آن در محاسبات.

برآورد خطر زمین‌لرزه به روش قطعی

روش قطعی به نوعی ازتحلیل خطر ناشی از لرزش زمین اطلاق می‌گردد که در آن از رویدادها یا چشمه‌های مجزا برای توصیف خطر زمین‌لرزه استفاده می‌شود. این نوع تحلیل مستلزم سه عنصر اساسی شناخت چشمه‌لرزه‌ای، برآورد بزرگترین زمین‌لرزه قابل انتظار در چشمه، تعیین نوع جنبش نیرومند زمین مورد نظر برای برآورد خطر، می‌باشد. برآورد خطر زمین‌لرزه به روش قطعی دارای مراحل اساسی تعیین چشمه‌های لرزه‌ای، برآورد بزرگترین زمین‌لرزه قابل انتظار، تعیین مناسبترین رابطه تضعیف برای جنبش نیرومند زمین، می‌باشد.

در روش قطعی پس از تعیین چشمه‌های لرزه‌ای و برآورد بزرگترین زمین‌لرزه قابل انتظار در هر چشمه بوسیله رابطه تضعیف انتخاب شده که بیشترین تطابق را با ساختگاه مورد نظر دارا باشد، برآورد خطر زمین لرزه انجام می‌گردد. بدین منظور، روابط متفاوت موجود از سال ۱۹۶۴ مورد بررسی قرار گرفت و برای محاسبه بیشینه شتاب جنبش نیرومند زمین از رابطه کاهندگی خادمی که بصورت ذیل می‌باشد، استفاده شد (داگلاس[1]، ۲۰۰۴).

رابطه کاهندگی انتخابی:

$$Y = C_1 \exp(C_2 M)((R + C_3 \exp(C_4 M))^{C_5} + C_6 S \quad (۱)$$

در این رابطه Y بر حسب g،

$$C_1 = 0.001 \quad C_2 = 0.417342 \,, \quad C_3 = 0.040311 \,,$$

$$C_5 = -0.035852 \,, \quad C_6 = -0.35111 \,, \quad C_4 = 0.65 \,,$$

S در محیط سنگی برابر با صفر و در محیط خاکی برابر یک است.

پس از انتخاب رابطه تضعیف (کاهیدگی)، محاسبات جنبش قوی در هر چشمه انجام و

1- Douglas

Archive of SID

www.SID.ir

بزرگترین مقدار محاسبه شده به عنوان شتاب طرح انتخاب می‌گردد که در این مطالعه PGA=0.3g برآورد شد.

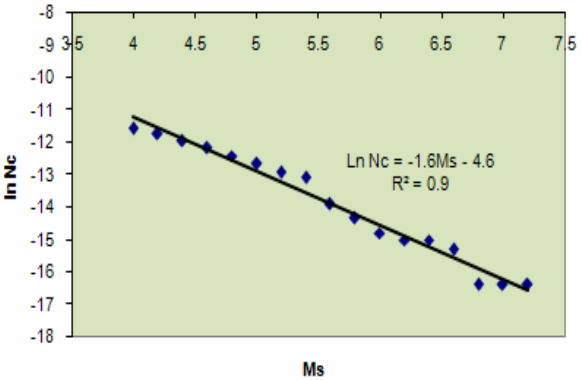
برآورد خطر زمین‌لرزه به روش احتمالاتی

روش احتمالاتی برآورد خطر زمین‌لرزه، خصوصیات تمام چشمه‌هایی که ممکن است بر یک ساختگاه اثرگذار باشند را در نظر می‌گیرد و احتمال وقوع زمین‌لرزه در هرچشمه، محاسبه می‌شود (میرزائی، ۱۹۹۷).

به عبارت دیگر در این روش اثر توام چشمه‌های لرزه‌ای متعدد بر ساختگاه مطالعه می‌گردد.

انجام تحلیل به این روش در چهار مرحله خلاصه می‌شود که به ترتیب عبارتند از: شناسایی چشمه‌های لرزه‌زا، تعیین روابط بازگشت و توزیع بزرگی و نرخ متوسط رخداد، تخمین و محاسبه حرکت زمین، ترسیم منحنی خطر.

در این روش پس از تعیین مشخصات چشمه‌های لرزه‌زا، رابطه نرمال شده گوتنبرگ ـ ریشتر در لگاریتم طبیعی محاسبه شده و از آنجا ضرائب ثابت مورد نیاز استخراج می‌گردد.



شکل ۵ـ نمودار رابطه نرمال شده گوتنبرگ ـ ریشتر

ضریب β بر اساس نتایج نمودار شکل ۵ برابر با ۱/۶ می‌باشد و در مرحله بعدی مورد استفاده قرار می‌گیرد. در مرحله بعد تابع چگالی احتمال محاسبه و جهت برآورد بزرگی زلزله مورد استفاده قرار می‌گیرد.

تابع توزیع چگالی احتمال بزرگا:

$$f(M) = C\beta\, e^{-\beta(M - M_0)} \qquad (۳)$$

که در آن:

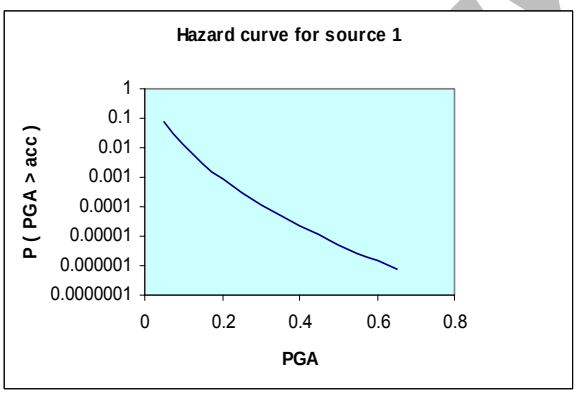
$$C = \frac{1}{1 - e^{-\beta(M_{max} - M_0)}} = 1.005$$

در نتیجه:

$$f(M) = 1.005 * 1.6 * e^{-1.6(M-4)}$$

$$f(M) = 1.6\, e^{-1.6(M-4)} \qquad (۴)$$

در مرحله بعد محاسبات جنبش نیرومند زمین با استفاده از رابطه تضعیف انتخابی انجام می‌گردد و منحنی خطر برای هر یک از چشمه‌ها ترسیم می‌گردد (شکل ۶).



شکل ۶ـ منحنی برآورد منحنی خطر در چشمه شماره ۱

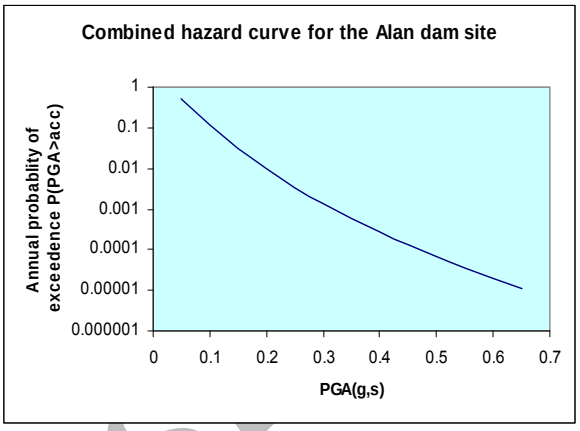
نظیر این نمودار در خصوص تمام چشمه‌ها تهیه می‌گردد. سپس نتایج بدست آمده در مراحل قبل بوسیله رابطه ذیل ترکیب می‌گردد:

$$P(PGA > acc) = 1 - \prod_k (P(PGA < acc)_k \qquad (۵)$$

Archive of SID

www.SID.ir

در آخر منحنی خطر ترکیب شده ترسیم می‌شود (شکل ۷).



شکل۷ـ منحنی خطر ترکیب شده برای ساختگاه سد آلان

مقادیر شتاب افقی در طول عمر مفید سازه و با توجه به تعاریف سطوح مختلف طراحی در جدول (۲) آورده شده است.

جدول ۲ـ مقادیر شتاب افقی در طول عمر مفید ۵۰ و ۱۰۰ سال و دوره بازگشتهای متفاوت برای سطوح مختلف طراحی در ساختگاه سد آلان

عمر مفید (سال)	درصد خطر	دوره بازگشت (سال)	شتاب افقی بر حسب (g)
۵۰	٪۶۴	۵۰	۰/۱
	٪۳۷	۱۱۰	۰/۲
	٪۱۰	۴۷۵	۰/۳
۱۰۰	٪۶۴	۵۰	۰/۲
	٪۳۷	۱۱۰	۰/۲
	٪۱۰	۴۷۵	۰/۳

برآورد شتاب قائم

مقدار پارامترهای زلزله اعم از شتاب در راستای قائم معمولا کمتر از راستای افقی بوده و همچنین خطر آن‌ها برای پایداری سازه‌ها، کمتر از پارامترهای راستای افقی می‌باشد. در نتیجه مقادیر پارامترهای فیزیکی مانند شتاب را می‌توان معادل دو سوم مقادیر نظیر آنها در راستای افقی در نظر گرفت.

معرفی سطوح طراحی

براساس توصیه‌ها و تعاریف مراکز معتبر جهانی، ارزیابی ایمنی سازه‌ها در برابر زلزله و طراحی مقاوم و لرزه‌ای آن‌ها باید به اثبات رسند.

با توجه به مشخصات پارامترهای جنبش زمین، سه سطح طراحی لرزه‌ای به صورتی که در ادامه آورده شده تعریف می‌گردند. سطح مبنای طراحی (DBL[1]) که در آن انتظار می‌رود که جنبش نیرومند زمین تخمین زده شده برای DBL در عمر مفید سازه به وقوع بپیوندد، لذا سازه در طول عمر مفید باید به خوبی توانایی مقاومت در مقابل زمین‌لرزه‌ای در سطح DBL را داشته باشند و هیچ‌گونه آسیب سازه‌ای نبیند.

در سطح حداکثر طراحی(MDL[2])، احتمال فزونی مقادیر جنبش زمین در طول عمر مفید بسیار کم است و یا به عبارت دیگر جنبش نیرومند زمین در سطح MDL قوی ولی احتمال رویداد آن در طول عمر مفید سازه کم می‌باشد. در اثر زمین‌لرزه‌ای در این سطح، به سازه در طول عمر مفیدش ممکن است خسارات محدودی وارد آید، ولی این آسیب‌ها باید قابل ترمیم باشند.

1- Design Basic Level
2- Maximum Design Level

Archive of SID

www.SID.ir

سطح حداکثر پذیرفتنی(MCL[1]) معرف بزرگ‌ترین میزان جنبش نیرومند زمین است که می‌تواند با توجه به سابقه لرزه‌خیزی، زمین‌ساخت و فعالیت مهم‌ترین چشمه لرزه‌ای گستره طرح پدید آید. این سطح طراحی، مناسب حساس‌ترین و حیاتی‌ترین سازه‌ها بوده و در صورت رویداد این زمین‌لرزه، قسمت‌هایی که بر اساس این سطح طراحی نشده می‌توانند دچار آسیب‌های سازه‌ای گردند ولی نباید باعث انهدام کامل سازه شود.

جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

مهم‌ترین نتایج و پیشنهادات به شرح زیر است:

۱ـ براساس مطالعات انجام شده و محاسبات ارائه شده، شتاب طرح در حدود g ۰/۳ برآورد گردیده است که نشاندهنده منطقه‌ای با میزان خطر زمین‌لرزه زیاد می‌باشد.

۲ـ در نزدیکی ساختگاه سد، گسل لرزه‌زایی وجود ندارد. گسل‌های با توان لرزه‌زایی بیش از (Ms) ۶/۵ در فاصله بیش از ۶۰ کیلومتری قرار دارند.

۳ـ در گستره‌ای به شعاع ۲۰۰ کیلومتر از محل طرح تعداد ۱۲۴ زلزله بزرگتر از ۴ در طی ۱۰۸ سال ثبت شده که در بین آن‌ها زلزله سال ۱۹۶۲ با بزرگی(Ms) ۷/۲ بزرگترین زلزله به شمار می‌رود که در فاصله ۱۵۵ کیلومتری ساختگاه سد روی داده است.

۴ـ بزرگی زلزله‌ای با دوره بازگشت ۵۰ سال برای گستره‌ای به شعاع ۲۰۰ کیلومتر حدود ۶/۲ است.

۵ـ بیشینه شتاب افقی برابر g ۰/۳ می‌باشد که در اثر فعالیت گسل آوج به محل مورد مطالعه وارد می‌شود.

۶ـ مقادیر بیشینه شتاب افقی برای سطوح طراحی MDL, DBLو MCL با فرض عمر مفید ۵۰ و ۱۰۰ سال به شرح زیر است:

جدول۳ـ مقادیر شتاب افقی در سطوح طراحی مختلف

سطوح طراحی	مقادیر شتاب افقی بر حسب (g)
سطح مبنای طرح با طول عمر ۵۰ سال	۰/۱۸
سطح مبنای طرح با طول عمر ۱۰۰ سال	۰/۲
سطح حداکثر طراحی	۰/۲۲
سطح حداکثر پذیرفتنی	۰/۳

۷ـ با توجه به اهمیت مطالعات برآورد خطر پیشنهاد می‌گردد برای ثبت فعالیت‌های لرزه‌ای منطقه، شبکه‌های لرزه‌نگاری ـ شتاب‌نگاری در محدوده طرح نصب شود.

تشکر و قدردانی

داده‌های مورد نیاز این پژوهش از شرکت آب منطقه‌ای همدان تهیه شده است که بدین وسیله از همکاری صمیمانه آن شرکت تشکر و قدردانی می‌شود.همچنین از شرکت پژوهش عمران راهوار و جناب آقای دکتر اصغری کمال تشکر را دارد.

1- Maximum Credible Level

Archive of SID

www.SID.ir

منابع

ـ آقا نباتی،س.ع.،۱۳۸۳،**"زمین‌شناسی ایران"**، انتشارات وزارت صنایع و معادن.

ـ آیین نامه طراحی ساختمانها در برابر زلزله، "استاندارد ۲۸۰۰ " ویرایش سوم، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن.

ـ بلور چی، م.ح.، ۱۳۵۸، "پژوهش زمین‌شناسی چهارگوش کبودر آهنگ"، انتشارات سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی.

ـ کمیته ملی سدهای بزرگ ایران، ۱۳۷۵، "استان‌های لرزه زمین ساخت ایران زمین نشریه شماره ۱۲"، انتشارات وزارت نیرو.

- Douglas, J.,2004,**"Ground moution estimation equations 1964-2003"**, Imperial College London.
- Kijko, A. and Sellevoll, M.A., 1989," **Estimation of earthquake hazard parameters from incomplete data fail part I. Utilization of extreme and complete catalogs with different thresholds magnitudes bull**". Seism. Soc. Am., Vol. 79, No.3, pp 645-654.
- Kijko, A. and sellevoll, M.A., 1990," **Estimation of earthquake hazard parameters for incomplete and uncertian data file"**, 21 st General assembly of the european seismological commission , Sofia.
- Mirzaei, N., 1997**," Seismic zoning of Iran. Dissertation for Ph.D.degree in geophysics**", Institute of geophysics, State seismological bureau, Beijing, People's republic of China, 134pp
- www.hmrw.ir

Archive of SID

www.SID.ir