

رهنمودهایی برای گزینش پارامترهای لرزه‌ای سدهای بزرگ

کمیته بین‌المللی سدهای بزرگ (۱۹۸۹) - بولتن ۷۲

رهنمودهایی برای گزینش پارامترهای لرزه‌ای سدهای بزرگ

بولتن ۷۲

کمیته بین‌المللی سدهای بزرگ (۱۹۸۹)

نام کتاب : بولتن شماره ۷۲ ICOLD

مؤلف : کمیته طراحی سد از نظر زمینلرزه

مترجم : مهندس داریوش معتضدیان

ویراستار : کمیته "لرزه‌خیزی و مهندسی زمینلرزه" طرح تهیه استانداردهای مهندسی آب کشور

تاریخ انتشار : سال ۱۳۷۹

حروفچینی و صفحه‌آرایی : انتشارات طرح تهیه استانداردهای مهندسی آب کشور

ناشر : سازمان مدیریت منابع آب ایران - طرح تهیه استانداردهای مهندسی آب کشور

هماهنگی ویرایش و چاپ : سازمان سازندگی و آموزش وزارت نیرو

شمارگان : ۱۰۰۰ نسخه

ISBN 964-92485-3-6

شابک ۹۶۴-۹۲۴۸۵-۳-۶

حق چاپ برای ناشر محفوظ است

پیشگفتار

کمیته «لرزه‌خیزی و مهندسی زمینلرزه» طرح تهیه استانداردهای مهندسی آب کشور به دلیل اهمیت زیادی که برای این بولتن کمیته بین‌المللی سدهای بزرگ قایل بوده، ترجمه آن را در دستور کارهای جانبی خود قرار داده است. ترجمه توسط آقای مهندس داریوش معتمدیان و ویرایش آن به وسیله برخی از کارشناسان کمیته انجام شده است. این کارشناسان عبارتند از: خانم مهندس مهیار نوربخش و آقایان مهندس علی اکبر اسلامی، مهندس مجید بهنام، دکتر بهروز گتمیری، مهندس ابراهیم مالکی، مهندس علی‌اکبر معین‌فر و مهندس احمد نادرزاده. با امید به آن‌که این رهنمودها بتواند برای طراحان سدهای بزرگ در گزینش پارامترهای لرزه‌ای بسیار رهگشا باشد.

حروفچینی، تنظیم مطالب و صفحه‌آرایی به وسیله خانم زهرا محسنی صورت گرفته است.

طرح تهیه استانداردهای مهندسی آب کشور

پیش نوشتار

تاثیر لرزه خیزی روی سدها همواره مورد توجه کمیته بین المللی سدهای بزرگ^۱ در طی بسیاری از فعالیتهاش بوده است. در سال ۱۹۶۹ این کمیته به منظور بررسی مسایل مربوط تشکیل و پیامد آن در دو بولتن زیر منتشر شد:

"مروری بر طراحی سدهای مقاوم در برابر زمین لرزه"^۲ در سال ۱۹۷۵ (بولتن شماره ۲۷، توسط کمیته تحت ریاست ام.نوز^۳) و "لرزه خیزی و طراحی سد"^۴ در سال ۱۹۸۳ (بولتن شماره ۴۶، توسط کمیته تحت ریاست آر.جی.تی.لین^۵).

ارزیابی لرزه خیزی ساختمانی یک سد، عنوان اولین فصل بولتن شماره ۴۶ بود که در آن موضوع اطلاعات ورودی لرزه ای برای تحلیل سد به طور خلاصه مدنظر قرار گرفته است.

با توجه به اهمیت زیادی که کمیته بین المللی سدهای بزرگ برای گزینش پارامترهای لرزه ای سدهای بزرگ قایل است، یکی از کمیته های وابسته "کمیته طراحی سد از نظر زمین لرزه"^۶ مسئول بررسی این موضوع شد. هدف این کمیته، انعکاس جدیدترین روش ها در این زمینه و تهیه "رهنمودهایی"^۷ برای طراحان به منظور هدایت آنها در گزینش پارامترهای ورودی لرزه ای سدهای بزرگ است.

1- International Commission on Large Dams (ICOLD)

2- "A Review of Earthquake Resistant Design of Dams"

3- M . Nose

4- "Seismicity and Dam Design"

5- R. G. T. Lane

6- Committee On Seismic Aspects of Dam Design

7- Guidelines

یک کمیته فرعی برای شروع مباحث تشکیل شد و "رهنمودهای گزینش پارامترهای لرزه‌ای پروژه‌های سد سازی"^۱ (منتشر شده در اکتبر ۱۹۸۵) که توسط کمیته سدهای بزرگ آمریکا^۲ تهیه شده، به عنوان مبنای مباحث اجلاس سالانه ۱۹۸۶ و ۱۹۸۷ قرار گرفت. در این متن نظریه‌ها و اصلاحیه‌های پیشنهادی ارائه شده توسط کشورهای گوناگون (از جمله آرژانتین، فرانسه، هند، ژاپن، نروژ، پاکستان و یوگسلاوی) مؤثر واقع شد.

پیش‌نویس نهایی این رهنمودها، توسط رئیس کمیته (با در نظر گرفتن موارد بالا) اصلاح و سپس در اجلاس سالانه ۱۹۸۸ کمیته، مورد بحث قرار گرفت و در پنجاه و ششمین اجلاس اجرایی به تصویب رسید. این رهنمودها اینک به صورت بولتن کمیته بین‌المللی سدهای بزرگ منتشر می‌شود.

بدین وسیله از همه کمیته‌های ملی و اعضای "کمیته طراحی سد از نظر زمین‌لرزه" که در تهیه این "رهنمودها" مشارکت داشته‌اند سپاسگزاری می‌کنیم.

الف - بزویچ^۳

رئیس کمیته طراحی سد از نظر زمین‌لرزه

1- Guidelines for Selection of Seismic Parameters for Large Dams

2- United States Committee On Large Dams (USCOLD)

3- A.Bozovic

۱-۱ هدف

تهیه پیش‌نویس این رهنمودها را کمیته زمین‌لرزه وابسته به کمیته سدهای بزرگ ایالات متحده آمریکا به عهده‌گرفت، سپس با اهداف زیر توسط "کمیته طراحی سد از نظر زمین‌لرزه" (کمیته بین‌المللی سدهای بزرگ) تکمیل شد:

- ۱- تهیه رهنمود برای گزینش پارامترهای مورد استفاده در طراحی لرزه‌ای^۱، تحلیل و ارزیابی ایمنی سدهای موجود یا جدید و سازه‌های وابسته.
- ۲- افزایش هماهنگی بین کارفرمایان، طراحان و سازمانهای مختلف درگیر برنامه‌ریزی، طراحی، ساخت، بهره‌برداری، نگهداری و تنظیم سدها در زمینه ارزیابی عملکرد سد از نظر جنبه‌های مرتبط با زمین‌لرزه.

برای ارزیابی رضایتبخش ایمنی سدها در برابر زمین‌لرزه، استفاده از پارامترهای لرزه‌ای^۲ معنی‌دار ضروری است. این رهنمودها به منظور کمک به مهندسان و مدیران پروژه در مورد گزینش پارامترهای ارزیابی لرزه‌ای، تهیه شده است و بر پایه مقتضیات ناشی از محل پروژه و خطر لرزه‌ای^۳ آن، طراحی منتخب و خطرپذیری^۴ سازه به اتمام رسیده، می‌باشد. ارزیابی ویژه لرزه‌ای، جایگزینی برای انجام طراحی مطمئن، به کارگیری مصالح با کیفیت بالا، روند مؤثر کنترل ساخت، نظارت مستمر و رفتارنگاری^۵ عملکرد یک سازه به اتمام رسیده نیست بلکه آنها را تکمیل می‌کند.

1- Seismic design

2- Seismic parameters

3- Seismic hazard

4- Risk

5- Monitoring

با یادآوری این که هر سازه به اتمام رسیده و شرایط محیطی آن، سیستم منحصر به فردی را تشکیل می‌دهد که نظیر آن عیناً در جای دیگر وجود ندارد، باید تاکید کرد که صرف نظر از پارامترهای لرزه‌ای و روشهای انتخاب شده برای تحلیل، به طور معمول، ارزیابی نهایی ایمنی یک سد بستگی به قضاوت مهندسی (با ارزیابی و مدنظر قرار دادن روش‌های جدید و توسعه یافته تحقیقاتی و نتایج تحقیقاتی تازه کسب شده) و تجارب قبلی با سازه‌های مشابه دارد.

۲-۱ پیش زمینه

سدها و تاسیسات وابسته ممکن است بر اثر حرکت یک گسل مستقیماً در پی سد، یا به احتمال بیشتر بر اثر جنبش زمین ناشی از رویداد زمین لرزه‌ای که از ساختگاه سد فاصله دارد آسیب ببینند. این رهنمودها به طور عمده به جنبه‌های جنبش لرزه‌ای زمین در طراحی سدها توجه دارد.

جنبش لرزه‌ای زمین، بر اثر یک آشفتگی در پوسته، مانند انتشار موج لرزه‌ای از محل حرکت گسل در پوسته زمین، ایجاد می‌شود. برآورد جنبش‌های آتی زمین، نیازمند توجه به مجموعه‌ای از اطلاعات به سرعت روبه گسترش، برهم‌کنش رشته‌های علمی متعدد از جمله زمین‌شناسی، ژئوفیزیک، لرزه‌شناسی، مهندسی ژئوتکنیک و مهندسی سازه است. با وجود پیشرفت سریع علم و دانش، هنوز عدم قطعیت زیادی در این زمینه وجود دارد. هم اکنون، طبیعت پیچیده جنبش زمین را تنها می‌توان با فرایندهای نسبتاً ساده تخمین زد. این فرایندها اغلب نمی‌توانند اثر انتشار انرژی لرزه‌ای از چشمه زمین لرزه، رفتار غیرخطی واحدهای سنگ و رسوبات خاک، تاثیر میدان نزدیک^۱ بر میدان دور^۲ رویداد، برهم‌کنش سد، پی و مخزن سد^۳ را به طور شایسته در نظر بگیرند، بلکه آنها را به صورت کلی تمیز و تشخیص می‌دهند. تغییرات فضایی جنبش زمین در امتداد پایه سد عموماً نادیده گرفته شده که

1- Near field

2- Far field

3- Interaction between dam, foundation and reservoir

فقدان داده‌های مناسب از دلایل اولیه آن است. تحقیقات فعلی به سمت تحلیل اثر ساختگاه (انتقال فاز بار^۱)، تاثیر لایه‌های زمین‌شناسی و ... جهت داده شده است. به هر حال ممکن است با استفاده از بخشی از روشهای توسعه یافته برای خطوط لوله بزرگ، به تحلیل این گونه جنبه‌ها برای سدهای طویل دست یافت.

آسیبهایی که در اثر زمین‌لرزه‌های گذشته به سدها وارد شده است، به ایجاد شکافهای کوچک یا نشست تاج تا تخریب کلی و از دست رفتن گنجایش ذخیره‌سازی مخزن منجر شده است. با وجود این، هیچ سد بتنی تاکنون دچار شکست فاجعه‌آمیز ناشی از رویداد زمین‌لرزه نشده است. در بسیاری از موارد، سدهایی که تحت تاثیر زمین‌لرزه بوده‌اند در فواصل زیادی نسبت به چشمه آزاد شدن انرژی قرار داشته‌اند. بنابراین، نمی‌توان روی نیاز به یک طرح مقاوم در برابر زمین‌لرزه^۲ در یک ساختگاه و یا اثبات کامل و مدلل این که ساختگاه یک پروژه غیرلرزه‌ای^۳ است تاکید زیاد کرد.

طراحی مبتنی بر اصول مقاوم در برابر زمین‌لرزه، روش استاندارد برای بیشتر سدهای جدید است اما برای بسیاری از سدهای قدیمی‌تر در نظر گرفته نشده است. روشهای قدیمی ارزیابی چشمه‌های زمین‌لرزه‌های منطقه‌ای و شرایط پی‌سدها، در مقایسه با روشهای جدید مورد نیاز مهندسی سدسازی، غالباً محدودیت بیشتری داشته و به کارگیری مراحل ساختی که در حال حاضر منسوخ شده، ارزیابی عملکرد سدهای قدیمی‌تر را بالقوه دشوارتر ساخته است. امروزه ایمنی سدهای جدید را باید قبل از بهره‌برداری آنها به اثبات رسانید در حالی که در مورد سدهای موجود، ابتدا باید عدم ایمنی سدها را نشان داد، سپس آنها را از دور خارج ساخت. با وجود این، نباید بین روشهای لازم برای گزینش پارامترهای زمین‌لرزه‌مورد استفاده در طراحی سازه‌های جدید و ارزیابی ایمنی سدهای قدیمی‌تر تفاوت ذاتی وجود داشته باشد. به‌طورکلی برای جبران ابهام و فقدان دقت لازم در برآورد ویژگیهای

1- Load phase shift

2- Earthquake - resistant

3- Aseismic

جنبش زمین در زمین لرزه‌های آتی، باید از رهنمودهای منسجم و به‌قدر کافی محافظه‌کارانه که در صفحات بعد پیشنهاد می‌شود پیروی نمود. به علاوه استفاده از تجربه‌ها و قضاوت‌های زمین‌شناسی و مهندسی در تعیین پارامترهای ارزیابی لرزه‌ای^۱ که هم محافظه‌کارانه و هم واقع‌گرایانه باشند چه در گذشته و چه در حال، از عامل‌های اساسی است.

۳-۱ دامنه کاربرد

این نشریه شامل رهنمودهای کلی برای گزینش پارامترهای ارزیابی لرزه‌ای، به منظور ارزیابی ایمنی سدهای موجود و طراحی مقاوم در برابر زمین‌لرزه برای سازه‌های جدید است. رهنمودهای این نشریه موضوع‌های زیر را در بر دارد:

- ۱- عامل‌های اولیه موردنظر در طراحی لرزه‌ای
- ۲- گزینش زمین‌لرزه‌ها برای تحلیل
- ۳- گزینش پارامترهای ارزیابی لرزه‌ای
- ۴- عامل‌های مؤثر در گزینش پارامترهای ارزیابی لرزه‌ای

1- Seismic evaluation parameters

۲- عاملهای اولیه موردنظر در طراحی لرزه‌ای

عاملهای اولیه‌ای که در گزینش پارامترهای طراحی لرزه‌ای پروژه‌های سدسازی اثر مستقیم دارند به شرایط زمین‌شناسی و زمینساخت^۱ ساختگاه سد و محدوده مجاور آن بستگی دارد. هدف این است که مبحث مربوط به این عاملهای اولیه که در زیر می‌آیند به صورت نسبتاً کاملی ارائه شود اما ترتیب، قالب و جزئیات به کار رفته باید همواره انعطاف‌پذیر بوده و متناسب با شرایط محلی، اندازه‌های سد، نوع عملکرد در نظر گرفته شده برای سازه و پیامدهای ناشی از وارد شدن آسیبهای جزئی به سد یا شکست کامل آن تغییر کند. گزینش پارامترهای لرزه‌ای برای ارزیابی ایمنی یک سد موجود یا جدید، به صورت اساسی یک فرایند گام به گام است که باید حداقل برخی از شرایطی را که در زیر می‌آیند در برگیرد. به منظور شرح کوتاه و کلی مسئله، فهرست عاملهای اولیه موردنظر در طراحی لرزه‌ای به عنوان مرجع، در پیوست ۱ ارائه شده است.

۲-۱ شرایط زمین‌شناسی ساختگاه

در مطالعات زمین‌شناسی و لرزه‌خیزی^۲ متداول، ابتدا جنبه‌های منطقه‌ای مدنظر قرار گرفته و سپس به شرایط محلی ساختگاه سد توجه خاص می‌شود. این نگرش، برای درک شرایط کلی زمین‌شناسی و پیشینه لرزه‌خیزی یک محل خاص لازم است. بعضی از ساختگاهها نیاز به یک ناحیه وسیع برای مطالعات منطقه‌ای دارند تا بدین وسیله کلیه مشخصات مهم زمین‌شناسی مورد نیاز برای توضیح شرایط ویژه‌ای چون کاهیدگی جنبش لرزه‌ای زمین^۳ به عنوان تابعی از فاصله ساختگاه تا ناحیه آزاد شدن انرژی، مدنظر قرار گرفته باشند.

1- Tectonic

2- Seismicity

3- Attenuation of earthquake ground motion

مطالعات زمین‌شناسی منطقه‌ای باید گستره‌ای به شعاع حداقل ۱۰۰ کیلومتر اطراف ساختگاه را در برگیرد و در بسیاری از موارد این شعاع تا ۳۰۰ کیلومتر افزایش می‌یابد تا هرگونه گسله اصلی یا ویژگیهای کاهیدگی خاص منطقه را در برگیرد. داده‌های زمین‌شناسی بررسی شده باید شامل موارد زیر باشد:

- ۱- شناسایی فیزیوگرافی و استان زمینساختی^۱ در برگیرنده محل پروژه
 - ۲- پیشینه زمین‌شناسی گستره پروژه
 - ۳- تشریح تشکیلات زمین‌شناسی، انواع سنگ و رسوبات خاک
 - ۴- مکان‌یابی عوارض عمده زمین‌شناسی ساختمانی منطقه شامل چینه‌ها، الگوهای درزه یا شکستگی. همپوشانی^۲ ساختمانهای عمده زمین‌شناسی منطقه نیز باید به عنوان مطالعه عوارض اصلی در نظر گرفته شود.
 - ۵- تفسیر ساز و کار^۳ زمینساختی منطقه‌ای و انواع گسلش وابسته به آن
 - ۶- مکان‌یابی و تشریح گسله‌ها، زونهای برشی^۴ و ارزیابی توان لرزه‌ای گسله‌ها یا جابجایی شدن در اثر زمین‌لرزه. که باید شامل مدارک مستند در خصوص وجود یا عدم وجود فعالیت گذشته (تاریخی یا قبل از تاریخ) هر یک از گسله‌ها باشد.
 - ۷- برآورد فعالیت گسلی هر یک از گسله‌های منطقه مورد مطالعه (به طور مثال: متوسط آهنگ لغزش^۵، لغزش در هر رویداد، بازه زمانی بین زمین‌لرزه‌های بزرگ و غیره).
- خصوصیات ویژه زیر نیز می‌تواند مورد توجه قرار گیرد:
- ۸- مطالعه جنبش و جابجایی ماگما، گدازه و فعالیت آتشفشانی
 - ۹- مطالعات پرتوزایی^۶ و جریانهای همرفتی^۷
 - ۱۰- پیمایش تغییرات میدان گرانشی^۸ و نابهنجاری بوگه^۹
 - ۱۱- مطالعات زمین‌گرمایی^{۱۰}

1- Tectonic province

2- Imbrication

3- Mechanism

4- Shear zones

5- Slip rate

6- Radioactivity

7- Convection currents

8- Gravitational field

9- Bouger anomaly

10- Geotherm

گردآوری داده‌های زمین‌لرزه‌های تاریخی، به شناسایی الگوهای لرزه‌خیزی یک منطقه کمک کرده و در مناطقی که زمین‌لرزه‌های زیادی روی داده است پایه‌ای را برای برآورد احتمال وقوع حرکت زمین‌لرزه‌های آتی در ساختگاه فراهم می‌سازد. فرض بر این است که زمین‌لرزه‌هایی مشابه با آنچه که در گذشته روی داده‌اند می‌توانند مجدداً در همان محل یا نزدیکی آن روی دهند. با وجود این، عدم رویداد زمین‌لرزه در گذشته، الزاماً بر غیرلرزه‌ای بودن منطقه دلالت نمی‌کند.

در صورت قابل دسترس بودن داده‌های زمین‌لرزه‌های ثبت شده، باید روی آنها تاکید شود. کاتالوگ‌های جامع زمین‌لرزه که در کشورهای گوناگون توسط مراکز مربوط نگهداری می‌شوند، اطلاعاتی دربارهٔ بزرگای^۱، محل رویداد، جزئیاتی در مورد پارامترهای دیگری چون ژرفای کانونی^۲ و فاصله کانون زمین‌لرزه از ساختگاه یک پروژه معین را فراهم می‌سازد. اطلاعات این کاتالوگ‌ها باید از نظر دقت، کامل بودن و هماهنگی داده‌های ارائه شده به صورت دقیق بررسی شوند. مراجع داده‌های زمین‌لرزه از لحاظ جهانی شامل مراکز بین‌المللی نیز می‌باشد.

گاهی اوقات لازم است برای دستیابی به داده‌هایی که به وسیله دستگاهها ثبت نشده‌اند، تحقیقات وسیعی روی نشریات فنی، روزنامه‌ها، مجلات و مراجع خصوصی و عمومی دارای اطلاعات زمین‌لرزه، انجام شده و رویدادهای گذشته که ممکن است روی ساختگاه سد اثر داشته باشند در محدوده مورد مطالعه ثبت و فهرست‌بندی شود. تحقیقات در مورد داده‌های پیشینه لرزه‌ای باید حداقل گستره‌ای به شعاع ۱۰۰ کیلومتر که ساختگاه سد در مرکز آن قرار گرفته است را دربرگیرد اما در بیشتر موارد باید شامل استان لرزه‌زمینساخت در برگیرنده ساختگاه و نیز محدوده تمامی گسله‌های مهم بشود که ممکن است از شعاع ۱۰۰ کیلومتر خیلی فراتر رود.

1- Magnitude

2- Focal depth

داده‌های زیر در صورت قابل دسترس بودن باید برای هر رویداد ارائه شود:

- مختصات رومرکز^۱
- بزرگا (یا شدت در رومرکز)
- تاریخ و زمان رویداد
- ژرفای کانونی
- سازوکار کانونی^۲
- منطقه‌ای که زمین‌لرزه در آن احساس شده است^۳
- اثرهای همراه زمین‌لرزه روی سطح زمین^۴
- شدت جنبش زمین در ساختگاه سد (دانسته یا برآورد شده)
- میزان اطمینان
- مرجع داده‌ها

نقشه‌های مربوط به شدت زمین‌لرزه همراه با منحنی‌های هم‌لرزه^۵ که نقاط با آسیبهای یکسان یا نقاطی که هنگام رویدادهای گذشته، آثار زمین‌لرزه در آنها یکسان احساس شده است را به هم متصل می‌کند، هنوز هم یکی از بهترین راهها برای به دست آوردن توابع کاهیدگی^۶ شدت زمین‌لرزه هنگام نبود سایر داده‌ها به شمار می‌آید، به رغم اینکه منحنی‌های هم‌تراز به صورت ذهنی تهیه شده و با خطاهای قابل توجه همراه است.

پیشینه لرزه‌ای و ملاحظات زمین‌شناسی ممکن است برای تعیین کمی آهنگ رویداد لرزه‌ای^۷ (تعداد رویداد در سال) در محدوده مورد مطالعه و در صورت امکان برای هر یک از گسله‌های فعال شناخته

1- Epicenter

2- Focal mechanism

3- Felt area

4- Accompanying surface effects

5- Isoseismal contours

6- Attenuation

7- Rate of seismic activity

شده یا استان لرزه‌زمینساخت آن منطقه مورد استفاده قرار گیرد. بهتر است که برای به دست آوردن روابط بزرگا-فراوانی^۱ هر منطقه یا در صورت امکان هر گسله معین، داده‌های پیشینه لرزه‌خیزی را - به عنوان مثال با رسم تعداد رویدادهای بزرگتر یا مساوی یک بزرگای مشخص در مقیاس لگاریتمی بر حسب بزرگا - پردازش آماری نمود. موقعیت رومرکز را می‌توان بر اساس تاریخ رویداد و افزایش فاصله از ساختمان موردنظر مرتب نمود. برای ارزیابی مکانی لرزه‌خیزی مهم تاریخی به صورت چشمی، ترسیم مکان رومرکز هر زمین‌لرزه نسبت به ساختمان سد توصیه شده است. تعیین صفحه گسله‌ای^۲ بر اساس فعالیت خرد لرزه‌ای^۳ ممکن است بتواند فعالیت گسله‌ها را نشان دهد.

۳-۲ شرایط زمین‌شناسی محلی

برای تعیین بعضی از ویژگیهای جنبش زمین که در یک ساختمان قابل انتظار است و ارزیابی پتانسیل جنبش اولیه^۴ یا نتیجه یک گسله در پی سد، وجود اطلاعات زمین‌شناسی ویژه ساختمان ضروری است. کلیه شرایط زمین‌شناسی ساختمان یا محدوده مجاور آن که ممکن است بیانگر جنبش اخیر گسله یا فعالیت لرزه‌ای باشد، باید با شواهد و مدارک کافی به طور کامل جمع‌آوری شوند. داده‌های زمین‌شناسی محلی از طریق مرور مقاله‌ها، گزارشهای مهندسی پروژه‌های اجرا شده در مجاورت سد، ارزیابی مستقیم ساختمان، بازرسی و تجسس صحرائی، نمونه‌برداری و آزمایش مواد، استخراج می‌شوند. این داده‌ها باید شامل موارد زیر باشد:

- ۱- تعیین نوع، گسترش، ضخامت، چگونگی رسوب‌گذاری/تشکیلات و مشخصه‌های پایداری واحدهای سنگ و رسوبات خاک
- ۲- مکان‌یابی و تعیین زمان گسلش^۵ محلی شامل: مقدار و نوع جابجاییها که از طریق داده‌های

1- Frequency-magnitude

2- Fault plane solution

3- Microseismic

4- Primary fault movement

5- Faulting

تاریخی و چینه‌شناسی برآورد شده‌اند، زمان آخرین گسیختگی^۱، آهنگ فعالیت^۲، آهنگ تغییر شکل نسبی^۳، آهنگ لغزش^۴ و غیره با استفاده از روشهای اندازه‌گیری صحیح. در بعضی از موارد می‌توان به استفاده از روشهای تحقیقاتی ویژه، از جمله ترانشه‌زنی یا سن‌یابی به کمک کربن رادیواکتیو اشاره کرد.

۳- تعبیر و تفسیر زمین‌شناسی ساختمانی شامل جهت‌یابی^۵، فاصله سیستم‌های درزه، لایه‌بندی صفحات^۶، شیب^۷، امتداد^۸ واحدهای زمین‌شناسی، چینه‌ها و اجسام نفوذی و خروجی^۹.

۴- تعیین شرایط هیدروژئولوژی شامل موقعیت سطح آب، فشار آب زیرزمینی و شرایط جریان آن و ویژگیهای نفوذپذیری تشکیلات موجود

۵- ارزیابی پتانسیل وقوع نوسان‌های دوره‌ای آب و تخریب شیبهای درون مخزن

۶- تعیین شرایط پی و تکیه‌گاهها

۷- تهیه فهرستی از جنبشهای ثبت شده نیرومند زمین ناشی از زمین‌لرزه‌های گذشته که در نزدیکی ساختگاه یا در نواحی با خصوصیات زمین‌شناسی یا زمینساختی مشابه روی داده‌اند.

1- Rupture

2- rates of activity

3- Strain rate

4- Slip rate

5- Orientation

6- Bedding planes

7- Dip

8- Strike

9- Intrusive and extrusive

۳- گزینش زمین لرزه‌ها برای تحلیل

۱-۳ رهیافت کلی

برای اهداف تحلیلی، زمین لرزه‌ها باید به نحوی تعیین شوند که بتوان پارامترهای ارزیابی لرزه‌ای مناسب (از جمله بزرگا، شتاب، مختصات طیفی^۱، مدت لرزش^۲ و ...) را انتخاب کرد. این فرایند را می‌توان با روش تعینی^۳ یا ارزیابی خطر لرزه‌ای به روش احتمالی^۴ انجام داد.

در روش تعینی (روش معمول از سال ۱۹۸۸) برای انتخاب پارامترهای ارزیابی لرزه‌ای، باید بزرگا و فاصله را با شناسایی گسله‌های فعال بحرانی^۵ که اثری از حرکت آنها در کواترنر دیده شده است معین کرد. توانمندی^۶ این گسله‌ها را باید با به کارگیری روشهای مناسب از قبیل رابطه بزرگا-طول گسیختگی^۷ یا رابطه بزرگا جابجایی گسله^۸ تعیین کرد. برای ارزیابی سایر پارامترها، باید فاصله گسله‌های بحرانی از ساختگاه معلوم باشد سپس می‌توان با روشی که خلاصه آن در پیوست ۲ درج شده است پارامترهای مناسب را به دست آورد.

در ارزیابی خطر لرزه‌ای به روش احتمالی، میزان دخالت کلیه چشمه‌های لرزه‌زا^۹ و همچنین اثر بزرگ‌های بیشتر از بزرگای آستانه^{۱۰} (نوعاً ۴ یا ۵ ریشتر) تا بزرگای بیشینه^{۱۱} هر چشمه لرزه‌زا، در جنبش لرزه‌ای ساختگاه به صورت عددی برآورد می‌شود. رویداد محتمل هر بزرگا در هر بخش از چشمه لرزه‌زا (با در نظر گرفتن نزدیکترین محل آن به ساختگاه سد) به صورت مستقیم در ارزیابی

-
- | | |
|-------------------------------|--|
| 1- Spectral ordinate | 2- Duration |
| 3- Deterministic | 4- Probabilistic seismic hazard evaluation |
| 5- Critical fault | 6- Capability |
| 7- Rupture length - magnitude | 8- Fault movement - magnitude |
| 9- Seismic source | 10- Designated minimum magnitude |
| 11- Maximum magnitude | |

خطر لرزه‌ای به روش احتمالی شرکت داده می‌شود. بخش ۵ از پیوست ۲ خلاصه‌ای از این نوع ارزیابی را ارائه می‌دهد.

۲-۳ واژگان فنی^۱

هیچگونه واژگان فنی پذیرفته شده جهانی برای انتخاب زمین لرزه‌های مختلف به منظور تعیین سطوح جنبش لرزه‌ای که یک سازه باید بر اساس آن طراحی یا ارزیابی شود وجود ندارد.

سطح جنبش زمین لرزه در ساختگاه یک سد بستگی به شرایط زمین‌شناسی و زمینساخت منطقه دربرگیرنده ساختگاه، چشمه لرزه‌زا و در نتیجه به انرژی آزاد شده، سازوکار چشمه^۲، طول مسیر انتشار موج لرزه‌ای (وکاهیدگی مربوط) و زمین‌شناسی سطحی ساختگاه دارد.

دو تعریف از زمین لرزه که یک سد باید بر پایه آنها طراحی یا ارزیابی شود توصیه شده است: بزرگترین زمین لرزه طراحی (MDE)^۳ و زمین لرزه مبنای بهره‌برداری (OBE)^۴. این دو بستگی به سطح فعالیت لرزه‌ای دارند که در هر استان زمینساختی یا هر گسله آشکار شده است.

مفهوم بزرگترین زمین لرزه محتمل (MCE)^۵ به هر یک از عوارض ایجادکننده زمین لرزه ارتباط دارد. این زمین لرزه به عنوان بزرگترین زمین لرزه منطقی و قابل درک است که احتمال وقوع آن در امتداد یک گسله مشخص یا گستره یک استان زمینساخت، در چارچوب زمینساخت شناخته شده فعلی یا فرضی وجود دارد. عموماً MCE* را به عنوان حد بالای بزرگا یا شدت قابل انتظار تعریف می‌کنند.

1- Terminology

2- Source mechanism

3- Maximum Design Earthquake (MDE)

4- Operating Basis Earthquake (OBE)

5- Maximum Credible Earthquake (MCE)

* مترجم: با توجه به این که OBE, MDE و MCE عبارتهای کاملاً جاافتاده‌ای هستند، که در گفتگوهای فنی مربوط به طور مستقیم از آنها استفاده می‌شود، برای پرهیز از پیچیدگی بیش از حد،

برای برآورد MCE می‌توان از هر دو روش تعینی یا احتمالی تشریح شده در بخش ۳-۱ استفاده نمود. اگر از روش تعینی استفاده می‌شود، عملاً دوره بازگشت چنین رویدادی مدنظر قرار نمی‌گیرد، چون این رویداد به شرایط زمین‌شناسی محیط موردنظر بستگی دارد. یکی از عوارض زمینساختی که از نظر لرزه‌ای توانمند تشخیص داده شده است بزرگترین سطح جنبش زمین‌لرزه را که انتظار آن در ساختگاه می‌رود تعیین خواهد کرد.

اگر از روش احتمالی در برآورد خطر لرزه‌ای استفاده می‌شود، برای MCE دوره بازگشتهای خیلی طولانی در نظر گرفته می‌شود (با احتمال عدم‌فزون^۱ ۵۰ درصد یا بیشتر در طول سالهای زیاد-پیوست ۲).

برای تعیین MCE از هر دو روش یاد شده استفاده گردیده است. در وضعیت فعلی دانش ما، نمی‌توان به‌طور قطعی تعیین نمود که از کدام روش باید استفاده کرد. بنابراین، توصیه می‌شود برای برآورد MCE از هر دو روش استفاده شود، سپس قضاوت مهندسی به‌کار گرفته شود.

در بولتن شماره ۴۶ کمیته بین‌المللی سدهای بزرگ (لرزه خیزی و طراحی سد)، تنها DBE^۲ (با رهیافت احتمالی) و MCE (با رهیافت تعینی) ذکر شده است. در رهنمودهای حاضر، پیروی از رهیافت تشریح شده بالا بهتر است، زیرا در آیین‌نامه برخی از کشورها برای برآورد MCE از رهیافت تعینی استفاده نشده است.

با توجه به مطالب پیش‌گفته، سطوح زمین‌لرزه که سد باید براساس آنها طراحی و تحلیل شود به قرار زیر است:

جملات، از این عبارتها در متن جزوه استفاده خواهد شد.

1- Probability of not being exceed

2- Design Basis Earthquake

بزرگترین زمین لرزه طراحی (MDE)

بیشترین سطح جنبش زمین که سد باید بر پایه آن طراحی و تحلیل شود به وسیله MDE ایجاد می‌شود. برای سدهایی که شکست آنها خطر اجتماعی بزرگی در بر دارد، به طور معمول MDE را معادل MCE که باروش تعیینی برآورد می‌شود (به طوری که قبلاً بحث شد) یا زمین لرزه‌ای با احتمال عدم فزونی ۵۰ درصد یا بیشتر در طول سالهای زیاد که باروش احتمالی به دست می‌آید در نظر می‌گیرند. هنگام اعمال این بار لرزه‌ای، لازم است که حداقل، ظرفیت ذخیره‌سازی مخزن سد حفظ شود.

در صورتی که شکست سد خطری برای حیات نداشته باشد، بر اساس ملاحظات گوناگون از جمله هزینه سد که برای یک سطح لرزه‌ای خاص طراحی شده و هزینه شکست سد ساخته شده، ممکن است سطحی از جنبش زمین کمتر از MDE را برای طراحی لرزه‌ای قابل قبول دانست. این یک مورد خاص است و قبول آن باید بر اساس یک توافق پذیرفته شده اجتماعی باشد.

زمین لرزه مبنای بهره‌برداری (OBE)

OBE نشانگر سطحی از جنبش زمین در ساختمان است که در آن فقط آسیبهای جزئی، قابل قبول است. OBE را به دلیل تعریف آن به بهترین شکل می‌توان باروش احتمالی تعیین کرد. به عنوان مثال با برآورد احتمال عدم فزونی ۵۰ درصد در ۱۰۰ سال که در هر حالت به میزان قابل ملاحظه‌ای کمتر از MDE است. سد، سازه‌ها و تجهیزات وابسته باید در برابر تکانهای زمین لرزه‌ای که از OBE بیشتر نیست به طور کامل کاراً باقی بمانند و آسیبهای وارده به سادگی قابل تعمیر باشند.

چون افزایش OBE معمولاً پیامدهای اقتصادی دارد شرایط حاکم بر موارد خاص می‌تواند استفاده از زمین لرزه‌های کوچکتر یا بزرگتر از OBE را توجیه کند. دوره بازگشتیهای به دست آمده برای این زمین لرزه بستگی به شرایط حاکم، در کشورهای گوناگون دارد.

زمین لرزه القایی مخزن^۱ (RIE)

زمین لرزه القایی مخزن (RIE) نشانگر بیشترین سطحی از جنبش لرزه‌ای در ساختگاه سد است که می‌تواند با آبگیری، تخلیه و حضور مخزن به وجود آید. تعداد موارد مستند RIE کم است. مطالعه مفصل این موارد توصیه می‌شود. با وجود این، ویژگیهای کلی محیط که می‌تواند باعث رویداد RIE شود در ادامه شرح داده شده است.

به طور کلی بر اساس گزارشهای موجود، RIE بیشتر در مورد سدهایی با ارتفاع بیش از حدود ۱۰۰ متر یا با مخزن بزرگ (گنجایش بیش از حدود ۵۰۰ میلیون متر مکعب) و سدهای جدید کوچکتر واقع در نواحی حساس زمینساختی مطرح می‌شود. با وجود اختلاف نظر در مورد شرایط بروز زمین لرزه القایی مخزن^۲، در حالتی که گسله‌های فعال در رژیم هیدرولیکی مخزن سد قرار دارند و یا زمین‌شناسی محلی و منطقه‌ای و همچنین لرزه ثبت شده در محدوده رژیم هیدرولیکی مخزن نشانگر پتانسیل لرزه‌خیزی القایی مخزن باشد، باید RIE را به عنوان یک زمین لرزه قابل انتظار در نظر گرفت. حتی اگر کلیه گسله‌های موجود در مخزن از نظر لرزه زمینساختی غیر فعال فرض شوند در صورتی که لرزه‌خیزی و زمین‌شناسی محلی و منطقه‌ای نشان دهنده استعداد لرزه‌خیزی القایی باشد، امکان لرزه‌خیزی القایی مخزن را نباید به طور کامل از نظر دور داشت.

بسته به محل سد و شرایط لرزه زمینساختی حاکم، RIE ممکن است نشان‌دهنده جنبشی کمتر، مساوی یا بزرگتر از OBE باشد. ولی بر اساس نتایج عملی، RIE نباید در هیچ صورت بزرگتر از MDE باشد و گسله‌هایی که مشکوک به افزایش لرزه‌خیزی القایی هستند باید در حین این ارزیابی مدنظر قرار گیرند. ممکن است آبگیری مخزن باعث تسریع رویدادهای لرزه‌ای شود. لذا برای سدها و مخازن بزرگتر، ثبت و مطالعه زمین لرزه‌های کوچک، قبل، هنگام و بعد از آبگیری به منظور ارزیابی لرزه‌خیزی القایی قابل توجه است.

1- Reservoir-Induced Earthquake(RIE)

2- Reservoir-Induced Seismicity

۳-۳ نیازهای ارزیابی لرزه‌ای^۱

به منظور طراحی سدهای جدید یا ارزیابی ایمنی سدهای موجود، بارهای لرزه‌ای پایه^۲ از MDE یا OBE استخراج می‌شوند. بر اساس شرایط موجود، می‌توان یک سد را برای یکی از این بارهای لرزه‌ای پایه یا هر دوی آنها ارزیابی کرد.

حفاظت از اموال، زندگی و ایمنی عمومی مردم، اولین شرط طراحی مقاوم سدها در برابر زمین‌لرزه است. بنابراین، بیشتر سدها باید بدون رهاسازی غیرقابل کنترل آب ذخیره شده در مخزن، قادر باشند در مقابل اغلب جنبشهای شدید زمین‌لرزه یا جنبش قابل تصور گسله‌ها در ساختگاه مقاومت کنند. تا زمانی که سیلابهای مخرب و فاجعه‌آمیز روی ندهند ممکن است آسیبهای وارده به سد حتی به صورت گسترده توسط MDE را قابل قبول دانست.

علاوه بر مطالب پیش گفته در مورد نیازهای اولیه، عاملهای زیر در تعیین میزان تلاش برای ارزیابی ایمنی لرزه‌ای نقش دارند:

- ۱- میزان خطر لرزه‌ای ساختگاه (به ۲-۵ مراجعه شود)
 - ۲- نوع سد
 - ۳- نیازهای اجرایی
 - ۴- میزان خطرپذیری مخزن و سد به اتمام رسیده (به ۳-۵ مراجعه شود)
 - ۵- پیامدهای ناشی از کم یا زیاد برآورد کردن خطرپذیری
- تصمیم‌گیری در مورد تحلیل سد برای MDE، OBE و یا RIE باید به طور مشترک توسط کارفرمای سد، مشاوران، سازمانهای نظارت و با توجه به تمایل عمومی گرفته شود.

1- Seismic evaluation requirements

2- Basic seismic loads

۴- گزینش پارامترهای ارزیابی لرزه‌ای

پارامترهای لرزه‌ای مورد استفاده در ارزیابی ایمنی سدها، نشانگر یک یا چند ویژگی جنبش زمین مانند مقادیر شتاب، سرعت، جابجایی، طیفهای پاسخ^۱ یا نمودار زمانی شتاب (شتابنگاشت)^۲ هستند که تعیین کننده ویژگیهای MDE, OBE یا RIE می‌باشند. این پارامترها را می‌توان با روش تعیینی یا احتمالی انتخاب کرد. غالباً از ترکیبهای گوناگون این پارامترها استفاده می‌شود. برای مثال، تعداد زیادی از شتابنگاشتهای مختلف می‌توانند MDE مشابهی را تعریف کنند (چون برای تعیین سطح مشخصی از جنبش زمین لرزه، راه منحصر به فردی وجود ندارد). به عنوان مثال دیگر، یک OBE می‌تواند با یک شکل طیفی مشخص و بیشینه مقادیر شتاب زمین (PGA)^۳ نشان داده شود.

پارامترهای ارزیابی لرزه‌ای که نمایانگر MDE, OBE یا RIE هستند اغلب به عنوان داده‌های ورودی تحلیل عددی یک سد عمل می‌کنند. نتایج این تحلیلهای عددی برای ارزیابی عملکرد و ایمنی سد در یک سطح جنبش لرزه‌ای مفروض به کار می‌روند.

بسیاری از عاملهایی که روی جنبش زمین و پارامترهای ارزیابی لرزه‌ای اثر می‌گذارند هنوز به طور کامل شناخته نشده‌اند. حرکت زمین در هر ساختگاه معین تحت تاثیر ویژگیهای "چشمه"، "مسیر انتشار موج"^۴ و "شرایط محلی" قرار دارد.

اثرهای "چشمه" شامل نوع گسله، ابعاد گسیختگی، سازوکار و راستا، ژرفای کانونی، افت تنش و مقدار انرژی آزاد شده است.

اثرهای "مسیر انتشار موج" به گسترش هندسی زمین‌شناسی و جذب انرژی لرزه‌ای موج در مسیر

1- Response spectra

2- Acceleration time histories

3- Peak Ground Acceleration (PGA)

4- Transmission path

انتشار، هنگام دور شدن از چشمه بستگی دارد. این اثرها در برگیرنده پدیده‌هایی مرتبط با نوع سنگ، ساختمانهای زمین‌شناسی منطقه‌ای شامل چینه‌ها و گسله‌های سطحی، ناهمگنی پوسته سطحی زمین، آبرفت عمیق، آثار جهت‌پذیری^۱ (راستای حرکت موج لرزه‌ای نسبت به انتشار گسیختگی گسله) می‌باشند.

"اثرهای محلی" ناشی از شرایط توپوگرافی و زمین‌شناسی حاکم بر ساختگاه سد و برهم‌کنش^۲ احتمالی بین سازه‌ها و محیط اطراف است.

عاملهایی که عموماً فرض می‌شود مهمترین نقش را در تعیین پارامترهای ارزیابی لرزه‌ای دارند عبارتند از:

- رده‌بندی^۳ ساختگاه (آبرفت یا سنگ)
- خواص فیزیکی و ضخامت موادپی^۴
- نزدیک بودن به گسله زمین‌لرزه (اثرهای میدان نزدیک)
- فاصله از ناحیه آزاد شدن انرژی
- بزرگای زمین‌لرزه طراحی

سایر عاملها از جمله راستای انتشار گسیختگی گسله (اثرهای جهت‌پذیری)، نوع گسلش (عادی، معکوس یا امتدادلغز) و توپوگرافی احتمالاً مهم هستند اما به طور معمول تاکنون در مطالعات لرزه‌ای سدها در نظر گرفته نشده‌اند.

1- Directivity

2- Interaction

3- Classification

4- Foundation Materials

پارامترهای ارزیابی لرزه‌ای، ترجیحاً، باید براساس شرایط وابسته ساختگاه سد^۱، به کارگیری دانش بهنگام موجود و مشاهدات واقعی نگاشتهای ثبت شده در ساختگاههایی با ویژگیهای مشابه باشد. باوجوداین، زمانی که داده‌های قابل دسترس ساختگاه سد به علت کم بودن، معنی‌دار نیستند باید جنبش لرزه‌ای زمین را مستقل از ویژگیهای ساختگاه^۲ سد به کار گرفت.

حالت مطلوب آن است که کلیه عاملهای مؤثر در جنبشهای لرزه‌ای زمین مدنظر قرار گیرد. اما معمولاً گنجاندن تمامی آنها در برآورد پارامترهای لرزه‌ای، عملی نیست. در بیشتر موارد از "چشمه" فقط "بزرگا"، و از "مسیر انتشار موج" فقط "فاصله" در نظر گرفته می‌شود. "اثرهای محلی" اغلب نادیده گرفته شده یا به تفکیک ساده بین ساختگاههای سنگی یا آبرفتی و احتمالاً مدنظر قرار دادن اثرهای میدان نزدیک محدود می‌شوند.

الگوهای به کار رفته برای تعیین ویژگیهای پارامترهای ارزیابی لرزه‌ای در پیوست ۲ تشریح شده است.

۵- عاملهای مؤثر در گزینش پارامترهای ارزیابی لرزه‌ای

۱-۵ کلیات

نیازهای تحلیل یک سد و در نتیجه روش گزینش و تعیین پارامترهای ارزیابی لرزه‌ای تا حدود زیادی به وسیله مودهای احتمالی شکست سد و اهداف مورد نظر طراحی، کنترل می‌شود. روشهای گوناگون تحلیل، استفاده از رویدادهای مختلف را برای تعیین یک سطح معین جنبش زمین لرزه ایجاب می‌کند. بنابراین در مراحل اولیه کار، ایجاد یک ارتباط مؤثر بین زمین‌شناسان، ژئوفیزیکدانها و مهندسان مسؤؤل در تعیین بارهای زمین لرزه و افرادی که سد را تحلیل می‌کنند، الزامی است. عاملهای مؤثر در تعیین پارامترهای لرزه‌ای عبارتند از:

- ۱- تعیین میزان خطر لرزه‌ای ساختگاه سد
- ۲- تعیین میزان خطر پذیری سازه به اتمام رسیده
- ۳- نوع سد و مودهای احتمالی شکست آن

بر اساس عاملهای بالا، برای تعیین صحیح‌ترین روش به منظور ارزیابی سد و تشخیص پارامترهای لرزه‌ای، به قضاوت و تجربه حرفه‌ای نیاز است.

هدف از این رهنمودها بحث روی روشهای تحلیل موجود و دردسترس و یا نحوه اجرای آنها نیست. با وجود این، در ادامه چگونگی تأثیر عاملهای یاد شده بالا روی گزینش صحیح پارامترهای ارزیابی لرزه‌ای، بر اساس روشهای به کار گرفته شده، به طور خلاصه توضیح داده می‌شود.

۲-۵ تأثیر میزان خطر لرزه‌ای ساختگاه‌های ویژه

برخی از ساختگاه‌ها به دلیل موقعیت جغرافیایی، بیشتر از سایر ساختگاه‌ها در معرض جنبشهای لرزه‌ای بالقوه زمین^۱ قرار دارند. نحوه تعیین میزان خطر لرزه‌ای را که در ادامه این بخش می‌آید می‌توان برای تفکیک سریع ساختگاه‌های متعدد از یکدیگر به کار گرفت. تعیین میزان خطر لرزه‌ای یک ساختگاه روی نیازهای ارزیابی و میزان دقت لازم برای تعریف پارامترهای ارزیابی لرزه‌ای اثر می‌گذارد. میزان خطر لرزه‌ای یک ساختگاه را می‌توان بر پایه بیشینه مقادیر شتاب زمین (PGA) که مقدار آن از روی MCE به دست می‌آید و ملاحظاتی از قبیل وجود گسله‌های فعال نزدیک، تعیین کرد. با استفاده از متغیرهای دیگر لرزه‌ای به غیر از PGA نیز می‌توان به طبقه‌بندی‌های مشابهی رسید. همچنین با به کارگیری نقشه‌های موجود مربوط به نواحی لرزه‌ای می‌توان به صورت مقدماتی میزان خطر لرزه‌ای یک ساختگاه را برآورد کرد. مطالعات پهنه‌بندی لرزه‌ای که به تهیه نقشه‌های مربوط منجر می‌شود در بعضی از کشورها به انجام رسیده ولی در بسیاری از نواحی جهان شامل برخی از مناطق به شدت لرزه‌خیز، این مطالعات انجام نشده است (باید به خاطر داشت که پهنه‌بندی خطر لرزه‌ای معمولاً بخشی از "آیین‌نامه‌های ساختمانی" به شمار می‌آید و اهمیت خطر پذیری سدها بیشتر است و باید در ارتباط با آنها تحقیقات لازم انجام شود).

جدول زیر را می‌توان برای تعیین میزان خطر لرزه‌ای محل سد، از کم تا خیلی زیاد، بدون توجه به نوع سد به کار گرفت. باید تاکید کرد که این جدول تنها به عنوان روشی سریع برای تعیین میزان خطر لرزه‌ای به کار می‌رود. عاملهای دیگری چون سرعت، محتوای فرکانسی و مدت لرزش را باید قبل از تصمیم‌گیری نهایی و با توجه به میزان کار لازم برای طراحی یا ارزیابی لرزه‌ای یک سد مدنظر قرار داد.

1- Potential earthquake ground motion

درجه خطر (میزان خطر)	شرایط
I (کم)	$PGA < 0.1g$
II (متوسط)	$0.1g \leq PGA \leq 0.25g$
III (زیاد)	$0.25g < PGA$ و هیچ گسسه فعالی تا فاصله ۱۰ کیلومتری ساختگاه وجود ندارد
IV (خیلی زیاد)	$0.25g < PGA$ و یک گسسه فعال در فاصله کمتر از ۱۰ کیلومتری وجود دارد

جدول بالا برای ساختگاههایی که در پی آنها مواد با کیفیت بالا وجود دارد به کار گرفته می شود. در جایی که مواد سؤال برانگیزی چون گل ولای^۱ و شن و ماسه اشباع شده با چگالی کم یا سایر رسوبات بالقوه سست وجود دارد و یا نسبت به وجود آنها در پی سد شک و تردید هست، باید این رسوبات را از لحاظ خطرات لرزه ای از جمله پتانسیل روانگرایی^۲ مورد ارزیابی ویژه قرار داد. با خاطرنشان ساختن نیاز به تحلیلهای پیچیده تر برای این حالتها، عاقلانه خواهد بود که به صورت محافظه کارانه، خطر لرزه ای را یک درجه بالاتر در نظر بگیریم.

درجه خطر لرزه ای یک ساختگاه سد، تشخیص مقدماتی آنچه را که برای ارزیابی لرزه ای به شرح زیر لازم است فراهم می سازد:

- برای ساختگاههایی با درجه کم خطر (I)، معمولاً تعیین پارامترهای لرزه ای با بیشینه مقادیر شتاب جنبش زمین (PGA) کافی است. در این مورد استفاده از ساده ترین روشهای تحلیل پذیرفتنی است. بیشتر سدهایی که در این درجه قرار دارند تحت شرایط MDE آسیبی نخواهند دید و در نظر داشتن OBE یا RIE در صورتی که سد برای MDE ارزیابی شده باشد لزومی ندارد.

1- Silt

2- Liquefaction

- برای ساختگاههایی با درجه متوسط خطر (II)، با توجه به نوع سد، میزان خطرپذیری و مودهای احتمالی شکست آن که در ادامه مورد بحث قرار خواهد گرفت، ممکن است پارامترهای ارزیابی لرزه‌ای را با بیشینه مقادیر شتاب حرکت زمین (PGA)، طیف پاسخ یا شتابنگاشتها تعیین کرد. چون سدهایی که برای رده متوسط خطر، خوب طراحی شده‌اند باید قادر باشند در برابر MDE با آسیب کم مقاومت کنند و در نظر گرفتن OBE برای آنها ضروری نیست.
- برای ساختگاههایی با درجه زیاد خطر (III)، ترجیحاً، باید پارامترهای ارزیابی لرزه‌ای را با شتابنگاشت تعیین کرد اگر چه ممکن است طیف پاسخ برای ارزیابی برخی از سدهای بتنی یا سازه‌های وابسته به آن کافی باشد. در این مورد در نظر گرفتن MDE, OBE, RIE به طور جداگانه ضروری است.
- برای ساختگاههایی با درجه خیلی زیاد خطر (IV)، اجباراً استفاده از شتابنگاشت برای نشان دادن پدیده‌های ویژه گسله از جمله آثار میدان نزدیک یا جهت‌پذیری و در نظر گرفتن شرایط بالقوه بحرانی پی سدها لازم است.

۳-۵ تاثیر خطرپذیری بالقوه^۱

خطرپذیری بالقوه سدها دارای دو جنبه ساختاری و اجتماعی-اقتصادی است. جنبه ساختاری آنها تا حدود زیادی به گنجایش مخزن و ارتفاع سد بستگی دارد چون پیامدهای بالقوه پایین دست^۲ با این مقادیر متناسب هستند.

خطرپذیری اجتماعی-اقتصادی را می‌توان با تعداد افرادی که باید در صورت بروز خطر، تخلیه شوند، همچنین آسیب بالقوه پایین دست، بیان کرد.

1- Potential risk

2- Downstream

میزان خطر پذیری بالقوه را می توان با تعیین وزن هر یک از جنبه های ذکر شده بالا معین کرد به نحوی که برای سدهایی با مخازن بزرگتر و نیازمند تخلیه افراد زیادتر در هنگام شکست آنها، همچنین با آسیبهای بیشتر بالقوه در پایین دست، باید ضریب وزنی بیشتری را در نظر گرفت. در این روش می توان اندازه گیری خطرپذیری بالقوه را فرمول بندی کرد و آن را به درجه های مختلف کم تا خیلی زیاد تقسیم بندی نمود.

باید در نظر داشت تعیین وزن جنبه های خطرپذیری ذکر شده بالا، به ویژه جنبه اجتماعی-اقتصادی آن، ارزیابی هایی بر پایه قضاوت کارشناسی است و شرایط اجتماعی-اقتصادی محیط را منعکس می کند. بنابراین در کشورهای گوناگون لازم است که متناسب با شرایط حاکم، جنبه های اجتماعی اقتصادی خطرپذیری تطبیق داده شود. در این رابطه می توان از موارد اشاره شده بالا، به عنوان رهنمودهای کلی استفاده کرد.

دو جدول زیر برای تعیین خطرپذیری سدها مناسب هستند و در آنها چهار عامل خطرپذیری به صورت جداگانه با وزنه های کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد ارائه شده است:

کم	متوسط	زیاد	خیلی زیاد	عامل خطرپذیری ^۱
میزان تاثیر روی خطرپذیری (عددهای وزنی) ^۲				
< ۰/۱ (۰)	۰/۱-۱ (۲)	۱-۱۲۰ (۴)	> ۱۲۰ (۶)	گنجایش مخزن (hm3: میلیون متر مکعب)
< ۱۵ (۰)	۱۵-۳۰ (۲)	۳۰-۴۵ (۴)	> ۴۵ (۶)	ارتفاع سد (متر)
هیچ (۰)	۱-۱۰۰ (۴)	۱۰۰-۱۰۰۰ (۸)	> ۱۰۰۰ (۱۲)	تعداد افرادی که باید تخلیه شوند
هیچ (۰)	کم (۴)	متوسط (۸)	زیاد (۱۲)	آسیب بالقوه پایین دست

1- Risk factor

2- Weighting points

جدول صفحه قبل به عنوان یک رهنمود کلی توصیه شده است. به هر حال در موارد حادثه (مثلاً ارتفاع سد بیش از ۹۰ متر و گنجایش مخزن بیش از ۱۲۰۰ میلیون متر مکعب) ممکن است ملاحظات ویژه‌ای برای ایمنی در نظر گرفته شود.

عاملهای دیگر از جمله جهت انتشار گسیختگی گسله (آثار جهت‌پذیری)، نوع گسلش (عادی، معکوس یا امتدادلغز)، طبیعت مواد گسلش‌یافته و توپوگرافی ممکن است حایز اهمیت باشد اما تا به حال به طور متعارف در مطالعات لرزه‌ای سدها منظور نشده‌اند.

برای محاسبه عامل خطرپذیری کل، باید عدد وزنی هر یک از چهار عامل خطرپذیری را که در داخل پرانتزها نشان داده شده‌است با هم جمع کرد:

عامل خطرپذیری کل = عامل خطرپذیری (گنجایش مخزن)

+ عامل خطرپذیری (ارتفاع سد)

+ عامل خطرپذیری (تعداد افرادی که باید تخلیه‌شوند)

+ عامل خطرپذیری (آسیب بالقوه پایین دست)

براساس عامل خطرپذیری محاسبه شده بالا، رده‌بندی خطرپذیری سد طبق جدول زیر است:

درجه خطرپذیری (میزان خطرپذیری)	عامل خطرپذیری کل
I (کم)	(۰ تا ۶)
II (متوسط)	(۷ تا ۱۸)
III (زیاد)	(۱۹ تا ۳۰)
IV (خیلی زیاد)	(۳۱ تا ۳۶)

باید خاطر نشان ساخت که در مورد سدهای موجود، سایر عاملها از جمله در دسترس بودن یا نبودن سوابق مربوط به مراحل ساخت، نگهداری، نظارت، ابزار دقیق، میزان تلاش قبلی به عمل آمده در

ارزیابی‌های ایمنی و گسترش‌های جدید یا برنامه‌ریزی شده پایین دست می‌تواند روی خطرپذیری یک سازه ویژه اثر بگذارد. چنین عاملهایی را نمی‌توان به سادگی به صورت کمی تعیین کرد و باید آنها را مورد به مورد مدنظر قرار داد. بسیاری از سدهای موجود با استفاده از روشهای شبه‌استاتیکی و با در نظر گرفتن شتابهای نسبتاً کم ۷ تحلیل شده‌اند. در صورتی که بیشینه مقادیر زیاد شتاب زمین (مثلاً بالاتر از $g/25$) برای ساختگاه این سدها به دست آید، شاید ارزیابی مجدد ایمنی سازه‌ای با استفاده از روشهای تحلیل دینامیکی الزامی باشد. این مورد، زمانی که در منطقه زمین‌لرزه‌ای با بزرگایی بیشتر از آنچه در طراحی در نظر گرفته شده است روی دهد، ممکن است دارای اهمیت خاص باشد.

برای برخورداری از راهنمایی بیشتر جهت انتخاب پارامترهای ارزیابی لرزه‌ای، نیاز به درجه‌بندی خطرپذیری سد می‌باشد. چون سدهایی با میزان خطرپذیری زیاد معمولاً یک ارزیابی پیچیده را طلب می‌کنند.

نووعاً، برای سدهایی با میزان خطرپذیری بالا، به ویژه اگر آهنگ خطر برای ساختگاه آنها زیاد باشد به یک روش تحلیلی تفصیلی و استفاده از شتابنگاشت نیاز است. برای سدهایی با میزان خطرپذیری پایین یا متوسط، به کاربردن روشهای ارزیابی ساده‌تر با استفاده از طیف پاسخ یا پارامترهای بیشینه مقادیر جنبش لرزه‌ای ممکن است قابل قبول باشد.

باید دانست که روشهای ذکر شده در بخش‌های ۵-۲ و ۵-۳ (درجه‌بندی سدها بر اساس خطرات ساختگاه، اندازه سد و پیامدهای کلی پایین دست) نه به صورت جامع بلکه به صورت مقدر به مسئله خطرپذیری پرداخته و باید در آنها از قضاوت مهندسی نیز استفاده شود. این زمینه در حال گسترش است و کار Committee on Risks to Third Parties (بولتن شماره ۲۹، ICOLD، ۱۹۷۷) و همچنین گزارش در مورد خطرپذیریها و سیستم‌های هشدار دهنده (که در حال آماده شدن است) باید در مطالعات آتی مدنظر قرار گیرد.

۴-۵ تاثیر نوع سد

برای نهایی کردن گزینش پارامترهای ارزیابی لرزه‌ای باید نوع سد، حالت‌های احتمالی شکست آن همراه با خطر ساختگاه و میزان خطرپذیری سازه مدنظر قرار گیرد. تردیدی نیست که برای تعیین چگونگی تاثیر این عاملها روی خصوصیات پارامترهای ارزیابی لرزه‌ای به یک قضاوت حرفه‌ای نیاز است.

هدف این رهنمودها بحث در خصوص صحیح‌ترین روشهای تحلیل سد، ترکیب بار زمین‌لرزه با سایر بارها و معیارهای کاربردی ارزیابی عملکرد^۱ آنها نیست.

با وجود این، تاثیر نوع تحلیل در نظر گرفته شده، نوع سد و حالت‌های احتمالی شکست، روی گزینش پارامترهای ارزیابی لرزه‌ای، چون این عاملها روی روش تعیین پارامترهای ارزیابی لرزه‌ای تاثیر زیادی می‌گذارند، در ادامه به طور مختصری مورد بررسی قرار گرفته است.

کاملترین راه برای مشخص کردن بارگذاری زمین‌لرزه، استفاده از سه مؤلفه متعامد جنبش زمین، دو مؤلفه افقی و یک مؤلفه قائم، است. بسته به روش تحلیل مورد نیاز، ممکن است استفاده از هر سه مؤلفه همیشه لازم نباشد.

۱-۴-۵ سدهای بتنی

جنبه‌های ایمنی سدهای بتنی که در معرض زمین‌لرزه قرار دارند شامل ارزیابی پایداری کلی سازه، از جمله تعیین توانایی مقاومت آن در برابر نیروهای جانبی، گشتاورهای اعمال شده و جلوگیری از

1- Applicable performance evaluation criteria

ایجاد ترک بیش از حد مجاز بتن (تنش بیش از حد) است. انواع گوناگون روشهای ساده تحلیل برای سدهای وزنی [مرجع شماره ۱۱] تا روشهای پیچیده از جمله روش تحلیل با سعی و خطا برای سدهای قوسی یا تحلیل به کمک روش اجزای محدود را که در مورد هر سد بتنی کاربرد دارد می توان به اجرا گذارد (ICOLD, ۱۹۸۶).

اگر یک ارزیابی ساده مدنظر باشد پارامترهای بیشینه مقادیر جنبش زمین و طیف پاسخ برای تعیین پارامترهای ارزیابی لرزه ای کافی خواهد بود.

تحلیل پاسخ دینامیکی به روش اجزای محدود را می توان با استفاده از طیف پاسخ یا شتابنگاشت انجام داد و این روش معمولاً برای بسیاری از سدها با میزان خطرپذیری یا خطر بالا مورد نیاز خواهد بود. از آنجاکه تنشهای ایجاد شده، از عاملهای اولیه در ارزیابی عملکرد سد به شمار می آید، همچنین معمولاً رفتار الاستیک خطی در نظر گرفته می شود، طیف پاسخ و یا شتابنگاشت مناسب را می توان برای مشخص کردن زمین لرزه های طراحی، به منظور ارزیابی بیشینه مقادیر تنش به کار برد. با وجود این، اگر تحلیل غیرخطی مدنظر باشد و یا در صورتی که تعداد دوره های تنش^۱ بتن یا گسترش تنش قابل توجه، برای ارزیابی عملکرد سد مهم باشد به طور انحصار باید از شتابنگاشتها استفاده کرد. از آنجاکه سدهای بتنی معمولاً در فرکانسهای نسبتاً بالا پاسخ می دهند، رقمی کردن شتابنگاشت باید با فواصل کاملاً کوتاه یعنی از ۰/۰۰۵ تا ۰/۰۲ ثانیه انجام شود. قبل از انجام هرگونه تحلیل باید گزینش صحیح این فاصله زمانی تایید شود.

برای سدهای بتنی وزنی مستقیم، عموماً، دو مؤلفه حرکت یکی افقی و دیگری قائم و تحلیل دو بعدی کافی است. با وجود این، در صورتی که انجام یک تحلیل کاملاً تفصیلی درخواست شده باشد سدهای بتنی وزنی واقع در تنگه های نسبتاً باریک را باید به صورت سه بعدی یعنی با استفاده از دو مؤلفه افقی

1- Stress cycles

و یک مؤلفه قائم تحلیل کرد. برای تحلیل سه بعدی سدهای قوسی و بسیاری از سدهای بتنی وزنی خمیده باید دو مؤلفه افقی که به صورت آماری^۱ مستقل از هم باشند و یک مؤلفه قائم جنبش را انتخاب کرد.

۲-۴-۵ سدهای خاکی

توجه به جنبه‌های ایمنی سدهای خاکی که در معرض زمین‌لرزه قرار می‌گیرند، شامل مواردی چون ناپایداری به علت از دست رفتن مقاومت مصالح پی یا خاکریز بدنه سد (مثلاً به خاطر افزایش فشار منفذی)^۲ و یا تغییر شکل بیش از اندازه (مثل ریزش، نشست، ترک برداشتن خاکریز و شکستهای صفحه‌ای یا چرخشی شیب^۳) است. این نوع سدها را می‌توان با به کارگیری روشهای ساده شده شبیه استاتیکی (مراجع ۳۲ و ۴۰) یا روشهای تفصیلی معادل بر اساس تفاضل محدود و اجزای محدود خطی یا غیرخطی تحلیل کرد (ICOLD, ۱۹۸۶). قبل از استفاده از روشهای تفصیلی و پیچیده، همیشه باید از روشهای ساده برای به دست آوردن اطلاعات اولیه درخصوص تاثیر پارامترهای لرزه‌ای منتخب استفاده کرد. در صورتی که در مورد مقاومت و سختی مواد خاکریز تردیدی وجود نداشته و خطر و میزان خطرپذیری پایین باشد، استفاده از روشهای ساده شده و برآورد عاملهای بار لرزه‌ای با استفاده از پارامترهای خاص بیشینه مقادیر جنبش زمین می‌تواند کاملاً کافی باشد.

برای برآورد عملکرد سدهای خاکی که میزان خطر و یا درجه خطرپذیری آنها زیاد است، اغلب از روشهای تفصیلی (مثل تحلیل بر پایه اجزای محدود یا تفاضل محدود) استفاده شده و به شتابنگاشتها به عنوان پارامترهای ارزیابی لرزه‌ای نیاز است. سدهای خاکی به طور معمول دارای پروده‌های اصلی ارتعاش ۰/۵ تا ۱/۵ ثانیه می‌باشند و برای تحلیل آنها با استفاده از روش اجزای

1- Stochastically

2- Pore pressure build-up

3- Planar or rotational slope failures

محدود، فواصل زمانی طولانی‌تر از آنچه برای سدهای بتنی توصیه شده است و برای رقمی کردن^۱ شتابنگاشت تا ۰/۰۵ ثانیه نیز در بعضی موارد کاملاً قابل قبول ارزیابی شده است. با وجود این، اگر از معادلات حرکت با فرمولبندی کاملاً صریح همانند تحلیل به روش تفاضل محدود غیرخطی استفاده شده باشد باید از فواصل زمانی کاملاً کوتاه (نوعاً تا ۰/۰۰۱ ثانیه یا کمتر) استفاده کرد.

در صورتی که در مقاومت و سختی مصالح به کار رفته در پی و خاکریز بدنه سد، شک و تردیدی وجود نداشته یا خاکریز اشباع نشده باشد، تحلیل دینامیکی سد به عنوان مبنایی برای برآورد جابجایی دایم ناشی از زمین‌لرزه عمل می‌کند و بیشتر روی پاسخ شتاب^۲ سد، تاکید می‌شود. در صورتی که مصالح پی یا خاکریز قابلیت از دست دادن سختی و مقاومت خود را داشته باشند، برای برآورد تعداد و دامنه دوره‌های تنش ایجاد شده^۳ به منظور تعیین کافی بودن یا نبودن تنشهای ناشی از زمین‌لرزه در تحریک^۴ از دست دادن مقاومت، باید از تحلیل دینامیکی استفاده کرد. در این حالت بیشتر روی پاسخ تنشی^۵ سد، تاکید می‌شود. برای تحلیل تفصیلی یک سد خاکی، نمی‌توان پارامترهای ارزیابی لرزه‌ای را به طور مستقیم تنها با یک طیف پاسخ مشخص کرد چون گسترش فشار منفذی افزایش یافته یا تغییر شکل‌های بیش از اندازه، به شدت به وسیله مدت لرزش کنترل می‌شود. با وجود این، برای ارزیابی مناسب بودن شتابنگاشت‌های انتخاب شده می‌توان به عنوان راهنما از یک شکل طیفی معین استفاده کرد.

به عنوان کلام آخر، اگر چه غالباً چنین فرض می‌شود که پاسخ دینامیکی سدهای خاکی به مدنظر قرار دادن مؤلفه‌های قائم جنبش زمین و تاثیرات هیدرودینامیکی آب مخزن نیاز ندارد، اما در مورد این فرضیات، به ویژه در مورد سدهای خاکی با شیب تند از جمله سدهای سنگریزه‌ای، هنوز جای بحث وجود دارد.

1- Digitization

2- Acceleration response

3- Induced Stress cycles

4- To trigger

5- Stress response

1. Akl, k. (1983) : "Strong Motion Prediction Using Mathematical Modeling Techniques" , Bull. Seism. Soc. Am., Vol. 72, No 6, December, pp. 529-541.
2. AMBRASEYS, N. N. (1973) : Fifth World Conference on Earthquake Engineering.
3. BAECHER, G.B., KEENEY, R.L. (1982) : Statistical Examination of Reservoir-Induced Seismicity, Bull. Seism. Soc. Am., Vol. 72, pp. 553-569.
4. Bolt, B.A. (1973) : "Duration of Strong Ground Motion", 5th World Conference on Earthquake Engineering, Rome, Italy, Proc., Vol. I, 6-D, Paper 292.
5. Bolt, B.A. (1981) : "Interpretation of Strong Ground Motion Records" State-of-the-Art for Assessing Earthquake Hazards in the United States, U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Misc. paper 5-73-1, Report 17, October, 215 pp.
6. Bolt, B.A., ABRAHAMSON, N.A. (1982) : "New Attenuation Relations for Peak and Expected Acceleration of Strong Ground Motion" , Bull. Seism. Soc. Am., vol. 72, NO .6, December, pp. 2307-2321.
7. BOORE, D.M., JOYNER, W.B (1982) : "The Empirical prediction of Ground Motion" ,Bull. Seism. Soc. Am., Vol.72, No.6, December, pp.543-560.
8. CAMPBELL, K.W. (1981) : "Near-Source Attenuation of Peak

- Horizontal Acceleration", Bull. Seism. Soc. Am., Vol. 71, No. 6, December, pp. 2039-2070.
9. CAMPBELL, K.W. (1983): "Preliminary Analysis of the Near-Source Scaling Characteristics of 5 to 10 HZ. Pseudo-Relative-Velocity", Presented at the 1983 Annual Meeting of the Seism. Soc. Am., Salt Lake City, Utah, May 2-4.
 10. CHANG, F.K., KPINITZSKY, E.L. (1977) : "State-of the- Art for Assessing Earthquake Hazards in the United States", Miscellaneous Paper 5-73-1, U.S. Army Engineers Waterways Experiment Station, Vicksburg, Miss., Report 8, December, 58 pp.
 11. CHOPRA, A.K. (1978) : "Earthquake Resistant Design of Concrete Gravity Dams", Jour. of the Structural Division, American Society of Civil Engineers (ASCE), Vol. 104, NO. ST6, June, pp. 953-971.
 12. CORNELL, C.A. (1968) : "Engineering Seismic Risk Analysis" , Bull.Seism. Soc. Am., Vol 58, No. 5, pp. 1583-1606.
 13. CORNELL, C.A., VANMARCKE, E.H. (1969) : "The Hajer Influences on Seismic Risk", Proc. 4th World Conf. on Earthquake Engineering Santiago, Chile, A-1, pp.69-83.
 14. DER-KIUREGHIAN, A., ANG, A.H-S (1977): "A Fault-Rupture Model for Seismic Risk Analysis", Bull. Seism. Soc. Am., Vol. 67, No. 4, pp. 1173-1194.
 15. DONOVAN, N.C. (1983) : A "Practitioner's Viem of Site Effects on Strong Ground Motion", Workshop on "Site-Specific Effects of Soil and Rock Ground Motion and Implications for Earthquake-Resistant

- Design", Reston, VA., July 25-27, Proc. Conf.XXII, pp. 68-79.
16. DONOVAN, N.C., BORNSTEIN, A. (1977) : "The Problems of Uncertainties in the Use of Seismic Risk Procedures" , ASCE Fall Convention and Exhibit, San Francisco, Oct. 17-21, Preprint 2913, "The Use of Probabilities in Civil Engineering, pp.1-36.
 17. GUHA, S.K. (1982) : Hazards to Reservoir-Induced Seismicity (RIS) in India, Seventh Symposium on Earthquake Engineering, Roorkee, India, November 10-12 : Sarita Prakashim, Meerut, India. Vol. I, pp. 37-42.
 18. GUPTA, H.K. (1985) : The Present Status of Reservoir-Induced Seismicity Investigations, With Special Emphasis on the Koyna Earthquakes : Tectono-physics, Vol. 118, pp. 254-279.
 19. HALL, W.J., MOHRAZ, B., NEWMARK, N.M. (1975) : "Statistical Studies of Vertical and Horizontal Earthquake Spectra", Technical Report, Nathan M. Newmark Consulting Engineering Services, Urbana, Illinois and Proceedings of 3rd SMIRT Conference, London, England.
 20. HANKS, T.C., MCGUIRE, R.K. (1981) : "The Character of High-Frequency Strong Ground Motion", Bull. Seism. Soc. Am., Vol. 71, No. 6, December, pp. 2071-2095
 21. HOUSNER, G.W. (1980) : "The Design Earthquake", lecture notes for the "Advances in Earthquake Engineering" course, University of California Extension, Berkeley, June 16-20, 44 pp.
 22. HUSID, R. (1973) : "Terremotos-Earthquakes", Editorial Andres Bello, Santiago, Chile. ICOLD (1986). ICOLD Bulletin No. 52.
 23. IDRIS, I.M. (1985) : "Evaluating Seismic Risk in Engineering Practice"

- Proceedings, XL International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, San Francisco, August 12-16.
24. JAPAN MINISTRY OF CONSTRUCTION , DEPT. OF PUBLIC WORKS (1977) : Aseismic Desjgn Code.
 25. JOHNSON, J.A. (1980) : "Spectral Characteristics of Near-Source Strong Ground Motion", 7th World Conf. on Earth. Eng., September 8-13, Istambul, Turkey, Proc., Vol. 2,pp. 131-134.
 26. JOHNSON, J.A., TRAUBENIK, M. L. (1978) : "Magnitude-Dependent Near-Source Ground Motion Spectra", ASCE Geotechnical Engineering Division, Specialty Conference, June 19-21, Pasadena, CA, pp. 530-539.
 27. JOYNER, W.B., BOORE, D.M. (1982) : "Prediction of Earthquake Response Spectra" , 51 st Annual Convention, SEAOC, Sep. 30-Oct. 1982, Sacramento, CA, Proceedings, pp.359-375.
 28. KATAYAMA, T. (1982) : "An Engineering Prediction Model of Acceleration Response Spectra and Its Application to Seismic Hazard Mapping", Earthquake Eng. and Struct. Dyn., Vol. IO, No. 1, January-February, pp. 149-163.
 29. KENNEDY, R.P. et al. (1983) : "Engineering Characterization of Earthquake Ground Motin for Nuclear Power Plant Design" Presented at Seismic Risk and Heavy Industrial Facilites Conference, San Francisco, CA, May ll, 19 pp.
 30. KIREMIDJIAN, A.S., SHAH, H.C. (1978) : "Probabilistic Site-Dependent Response Spectra", Stanford University, John A. Blume Earthquake Engineering Center, Report No. 29, April, 86 pp.

31. KULKARNI, R.B., SADIGH, K., I. M. (1979) : "Probabilistic Evaluation of Seismic Exposure", Proceedings, Second U.S. National Conference on Earthquake Engineering, Stanford, CA, PP. 90-98.
32. MAKDISI, F. I., H. B. (1978) : "Simplified Procedure for Estimating Dam and Embankment Earthquake-Induced Deformations", Journ. of the Geotechnical Engineering Division, ASCE, Vol. 104, No. GT7, July, pp.849-867.
33. McGUIRE, R. K. (1976) : "FORTRAN Computer Program for Seismic Risk Analysis" , U.S. Geological Survey, Open File Report 76-67.
34. McGUIRE, R. K. (1977) : "Seismic Design Spectra and Mapping Procedures Using Hazard Analysis Based Directly on Oscillator Response", Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Vol. 5, pp. 211-234.
35. MEADE, R.B. (1982) : "The Evidence for Reservoir-Induced Earthquake" ,in State-of-the-Art for Assessing Earthquake Hazards in the United States. U.S. Army Engineers Waterways Experiment Station, Misc. paper S-73-1.
36. MERZ, H.A., CORNELL, C.A. (1973): "Seismic Risk Analysis Based on a Quadratic Magnitude Frequency Law", Bull. Seism. Soc. Am., Vol. 63, No.6, December,pp. 1999-2006.
37. MOHRAZ, B. (1976) : "A Study of Earthquake Response Spectra for Different Geological Conditions", Bull. Seism. Soc. Am., Vol. 66, No. 3, June, pp. 915-935.
38. MOHRAZ, B.(1978) : "Influences of the Magnitude of the Earthquake

- and the Duration of Strong Motion on Earthquake Response Spectra", Central American Conf. on Earthquake Eng., Eng., San Salvador, C.A., January 9-12 Proc PP.27-35.
39. MORI, K., ISHIMARA, K., TAEYEA, K., KANAZASHI, K. (1980) : Seismic Stability Analyses of Kekubo Dam. ICE Oct., 1980. Design of Dams to Resist Earthquakes.
 40. NEWMARK, N.M. (1968): "Problems in Wave Propagation in Soil and Rock" International Symp. on Wave Propagation and Dynamic Properties of Earth Materials, August 23-25, U. of New Mexico, Albuquerque, pp. 7-26.
 41. NEWMARK, N. M., HALL, W. J. (1982) : "Earthquake Spectra and Design", Earthquake Engineering Research Institute, Monograph Series, Vol. 3,103 pp.
 42. RIZZO, P.C., SHAW, D.E., SNYDER, M.D. (1976): "Vertical Seismic Response Spectra", Journ. of Power Division, ASCE, Vol. 102, No. POI, January.
 43. SEED, H.B, IDRIS, I.M. (1982) : "Ground Motions and Soil Liquefaction During Earthquakes", Earthquake Engineering Research Institute, Berkeley, California, Monograph, Library of Congress Catalog Card Number 82-84224.
 44. SEED, H.B. UGAS, C., LYSMER, J. (1974) : "Site-Dependent Spectra for Earthquake-Resistant Design", U. of California. Berkeley Earthquake Engineering Research Center, Report NO.EERC 74-12, November, 14 pp.

45. SIMPSON, D.W. (1986) : "Triggered Earthquakes" , Ann. Rev. Earth Planet. Sci., Vol. 14, pp. 21-42.
46. TRIFUNAC, M.D., BRADY, A.G. (1975) : "On the Correlation of Seismic-Induced Intensity Scales With Peaks of Recorded Strong Ground Motion", Bull. Seism. Soc. Am., Vol. 65, No. I, PP. 139-162.
47. WHEATON, R.D., POLIVKA, R.M. (1980) : "Uniform Probability Response Spectra for a Site Near the San Andreas Fault", 7th World Conf. on Earth. Eng., September 8-13, Istanbul, Turkey, Proc., Vol. 2,pp. 279-286.

۷- فرهنگ واژه‌های فنی^۱

تعاریف زیر به منظور کمک به درک یکنواخت واژه‌های استفاده شده در رهنمودهای این نشریه ارائه شده است. کلمات و عباراتی که در تعریف واژه‌های فنی کمیته بین‌المللی سدهای بزرگ (بولتن ۳۲a) درج شده، در زیر با علامت (*) مشخص و تعاریف آنها ارائه شده است.

گسله فعال^۲: گسله‌ای است که به طور مستدل شناسایی و مکان‌یابی شده، قبلاً موجب بروز زمین‌لرزه‌هایی گردیده و یا دارای شواهد زمینساختی دال بر جابجاییهای هولوسن (۱۱۰۰۰ سال گذشته) باشد و به دلیل شرایط فعلی زمینساختی بتواند در طی عمر پیش‌بینی شده سازه‌های ساخت انسان، حرکت کند. در مورد تعریف فعالیت گسله اختلاف نظر وجود دارد. برای اهداف کاربردی مهندسی زمین‌لرزه، یک گسله لرزه‌زا^۳ یا گسله زمین‌لرزه‌ای از سایر شکستگیها از جمله ترک‌خوردگیهای ناشی از زمینلغزه‌ها^۴، یخ‌رانندگی^۵ و اثرات پس‌روی آب زیرزمینی^۶ و غیره متمایز است.

کاهیدگی^۷: کاهش دامنه و تغییر محتوای فرکانسی امواج لرزه‌ای با فاصله به دلیل گسترش‌هندسی، پراکنش و جذب انرژی. این اصطلاح همچنین کاهش بزرگی سیگنال^۸ در مسیر و کاهش دامنه یا انرژی بدون تغییر شکل موج را نیز نشان می‌دهد.

سنگ‌بستر^۹: هرگونه ماده رسوبی، آذرین یا دگرگونی که در زمین‌شناسی به عنوان یک واحد مشخص

1- Glossary

2- Active fault

3- Seismogenic

4- Landslides

5- Ice thrusting

6- Groundwater withdrawal

7- Attenuation

8- Signal magnitude

9- Bedrock

گردیده و به صورت یک جسم صلب و سالم، لایه یا رگه مواد معدنی ظاهر شده و دارای سرعت آستانه موج برشی بیشتر از 75° متر بر ثانیه باشد. سنگ‌بستر می‌تواند در سطح زمین یا لایه‌های زیرین آن نمود پیدا کند.

میرایی بحرانی^۱: حداقل میزان میرایی که یک نوسانگر با یک درجه آزادی را از نوسان آزاد باز دارد.

میرایی^۲: مقاومتی است که به واسطه جذب انرژی، نوسانات را کُند کرده یا از حرکت باز دارد. انواع گوناگون میرایی از جمله میرایی مادی (چسبندگی، کولمب) و هندسی (تابشی) وجود دارد.

نسبت میرایی: نسبت میرایی واقعی به میرایی بحرانی

رومركز^۳(*) : مکانی روی سطح زمین که درست بالای کانون زمین‌لرزه قرار می‌گیرد.

گسله^۴: هر شکستگی یا زون شکستگی در پوسته زمین که در امتداد آن دو طرف نسبت به هم و موازی شکستگی جابه‌جا شده باشند.

ژرفای کانونی^۵: فاصله عمودی بین رومركز و کانون زمین‌لرزه

کانون^۶(*) : مکانی که مرکز زمین‌لرزه و مبدأ موج لرزه‌ای الاستیک است.

1- Critical damping

2- Damping

3- Epicenter

4- Fault

5- Focal depth

6- Hypocenter (Focus)

میدان آزاد^۱: منطقه‌ای از سطح زمین که تحت تاثیر سازه‌های ساخت انسان نباشد. همچنین به معنای محیطی که شامل هیچ سازه‌ای نباشد (مقطع میدان آزاد^۲) و یا منطقه‌ای که تحت تاثیر قابل ملاحظه اثرات مرزی^۳ نباشد نیز اطلاق می‌شود.

فورکانس (بسامد): تعداد نوسان در یک ثانیه

شدت^۴: یک شاخص عددی است که اثرات زمین‌لرزه را روی سازه‌های ساخت انسان یا سایر عوارض سطح زمین تشریح می‌کند. تعیین شدت، تخمینی و ذهنی است و تحت تاثیر کیفیت بنا، شرایط سطح زمین و درک شخصی فرد ناظر قرار دارد. در کشورهای مختلف از مقیاسهای گوناگون شدت استفاده می‌شود، مانند مقیاس اصلاح شده مرکالی^۵ که در ایالات متحده آمریکا کاربرد وسیعی دارد.

بزرگا^۶(*) : میزانی برای نشان دادن قدرت یک زمین‌لرزه، مستقل از محل مشاهده است. بزرگا با اندازه‌گیری از روی لرزه‌نگاشتها محاسبه شده و با اعداد معمولی و اعشاری مبتنی بر مقیاس لگاریتمی نشان داده می‌شود.

MCE^7 : بزرگترین زمین‌لرزه محتمل

MDE^8 : بزرگترین زمین‌لرزه طراحی

1- Free-field

2- Free-field profile

3- Boundary effects

4- Intensity

5- Modified Mercalli Scale

6- Magnitude

7- Maximum Credible Earthquake

8- Maximum Design Earthquake

جنبش میدان نزدیک^۱: جنبش ثبت شده زمین در مجاورت یک گسله. برای مثال در باخترکوههای راکای ایالات متحده آمریکا، می توان میدان نزدیک را بر اساس جدول زیر تعریف کرد:

شعاع میدان نزدیک (کیلومتر)	بیشینه شدت I_0 (مقیاس: مرکالی اصلاح شده)	بزرگا (ریشتر)
۵	VI	۵/۰
۱۵	VII	۵/۵
۲۵	VIII	۶/۰
۳۵	IX	۶/۵
۴۰	X	۷/۰
۴۵	XI	۷/۵

در صورت غیرقابل رؤیت بودن گسیختگی گسله، حدود میدان نزدیک از رومرکز یا فاصله عمودی تا رد گسله اندازه گیری می شود. در برخی از مناطق از جمله خاور ایالات متحده آمریکا، حد مشخصی برای میدان نزدیک ارائه نشده است. برای گسله های معکوس و رانندگی ممکن است نیاز به تغییر حدود میدان نزدیک باشد.

OBE^۲: زمین لرزه مبنای بهره برداری

PGA^۳: بیشینه شتاب زمین

فاز^۴: زاویه تقدم یا تأخر یک موج سینوسی نسبت به یک مرجع. پاسخ فازی عبارت است از منحنی انتقال فاز بر حسب فرکانس.

1- Near - field motion

2- Operating Basis Earthquake

3- Peak Ground Acceleration

4- Phase

طیف پاسخ^۱: منحنی بیشینه مقادیر پاسخهای شتاب، سرعت و یا جابجایی سریهای نامحدود مربوط به سیستم‌های یک درجه آزادی که تحت تحریک دینامیکی وابسته به زمان مانند جنبش زمین (ولی نه محدود به آن) قرار گرفته‌اند. بیشینه مقادیر پاسخ به عنوان تابعی از پریرود طبیعی غیرمیرا برای یک میرایی مشخص است.

مقادیر تقریبی طیف پاسخ شتاب، سرعت و جابجایی را می‌توان از روی یکدیگر با فرض وجود رابطه سینوسی بین آنها به دست آورد. طیفهای به دست آمده از این روش را گاهی با عنوان مقادیر طیف پاسخ شبه شتاب، شبه سرعت یا شبه جابجایی ذکر می‌کنند.

RIE^۲: زمین‌لرزه القایی مخزن

افت تنش^۳: اختلاف تنش برشی اولیه که روی یک صفحه گسله عمل کرده با تنش برشی باقی‌مانده روی همان صفحه گسله پس از لغزش.

گسله امتداد-لغز^۴: گسله‌ای که حرکت آن اصولاً افقی است.

جنبش نیرومند^۵: جنبش زمین با دامنه کافی که از نظر مهندسی در ارزیابی آسیبهای ناشی از زمین‌لرزه حایز اهمیت باشد.

استان زمینساخت^۶: محدوده زمین‌شناسی که دارای خصوصیات ساختاری زمین‌شناسی و زمین‌لرزه‌ای یکسان باشد.

1- Response spectrum

2- Reservoir-Induced Earthquake

3- Stress drop

4- Strike-slip fault

5- Strong motion

6- Tectonic province

پیوستهای ۱ و ۲

فهرست عاملهای اولیه مورد نظر طراحی لرزه‌ای

- ۱- عاملهای منطقه‌ای
 - ۱-۱ شرایط زمین‌شناسی منطقه‌ای
 - پیشینه زمین‌شناسی محدوده پروژه
 - تعیین سیمای فیزیوگرافی منطقه‌ای
 - تشریح تشکیلات زمین‌شناسی (نوع سنگ و ...)
 - مکان‌یابی سیمای اصلی ساختاری زمین‌شناسی منطقه‌ای (چینه‌ها، شکستگیها، گسله‌ها و ...)
 - برآورد درجه نسبی فعالیت گسله‌ای (آهنگ جابجایی، ...) و فعالیت تغییر شکل (آهنگ فرونشینی) در محدوده مورد مطالعه.
 - ۲-۱ پیشینه لرزه‌ای
 - کاتالوگ‌ها
 - مختصات رومرکز
 - شدت رومرکز
 - آثار سطحی: خطوط هم‌لرز (نقشه)
 - ژرفای کانونی
 - ناحیه‌ای که زمین‌لرزه در آن احساس شده
 - شدت ایجاد شده در ساختمان‌گاه (دانسته یا برآورد شده)
 - برآورد کمی آهنگ فعالیت لرزه‌ای (در صورت امکان)

۳-۱ لرزه‌شناسی (در صورت لزوم: بسته به نوع سد و درجه زمین‌لرزه‌های پیشین)

- فعالیت خرد لرزه‌ای
- ژرفاهای کانونی
- سازوکارهای کانونی
- نگاشته‌های جنبش نیرومند زمین (در صورت وجود)

۴-۱ تفسیر لرزه‌زمینساختی

- برآورد تنش‌های منطقه‌ای در دوره‌های زمین‌شناسی مختلف (از استیلولیتها^۱ ...)
- اندازه‌گیری تنش در منطقه ساختگاه (در صورت وجود)
- تفسیر سازوکار زمینساخت منطقه‌ای و نوع گسلش‌های مربوط
- مکان‌یابی و تشریح گسله‌ها (و زونهای برشی) که توان ایجاد زمین‌لرزه‌ها (یا جابجا شدن توسط زمین‌لرزه‌ها) را داشته باشد.
- تعریف استانهای لرزه‌زمینساخت، نقشه لرزه‌زمینساخت

۲- عاملهای محلی

۱-۲ زمین‌شناسی محلی

- چینه‌شناسی و سنگ‌شناسی سنگ‌بستر
- خردزمینساخت‌ها^۲ و زمینساختهای محلی (گسله‌ها، درزه‌ها و ...)
- نهشته‌های سطحی^۳ (آبرفتی، پادگانه‌های^۴ رودخانه‌ای، یخچالی، خاکها و ...)
- نقشه خطوط هم ارتفاع^۵ نهشته‌های سطحی (برای استفاده در برآورد اثرات ساختگاه)
- نقشه خطوط میزان^۶ سنگ‌بستر

1- Stylolites

2- Microtectonics

3- Superficial

4- Terraces

5- Hypsometric map

6- Contour map

۲-۲ هیدروژئولوژی

- تغییرات دوره‌ای تراز ایستابی^۱، مطالعات نفوذپذیری-ترکیب شیمیایی آب

۳-۲ مطالعات ژئوفیزیکی

- مطالعات رفتارنگاری گاز رادون، جریانهای همرفتی، مطالعات زمین‌گرمایی و اندازه‌گیریهای گرانشی.

۴-۲ داده‌های ژئوتکنیکی

- سنگ‌بستر
- نهشته‌های سطحی

۵-۲ بهره‌برداری از منابع طبیعی در مجاورت گستره پروژه

- آب زیرزمینی
- نفت و گاز
- نهشته‌های معدنی

1- Static water level

تعیین پارامترهای ارزیابی لرزه‌ای

۱- پارامترهای بیشینه مقادیر جنبش زمین

جنبش زمین را می‌توان با مقادیر بیشینه یا مؤثر^۱ شتاب، سرعت و یا جابجایی قابل انتظار مشخص کرد. روابط تجربی به دست آمده از داده‌های قابل دسترس زمین‌لرزه‌ها که روابط کاهیدگی نامیده شده‌اند، پارامترهای مقادیر جنبش زمین را با پارامترهای فاصله از چشمه لرزه‌زا و بزرگای مرتبط می‌سازد. در هر حال چنین روابطی نسبت به فاصله و بزرگای برآورد شده به ویژه در میدان نزدیک بسیار حساس هستند. تفاوت بین مقادیر مشاهده شده و پیش‌بینی شده معمولاً قابل توجه است، چون بسیاری از عاملها از جمله ویژگیهای محلی ساختگاه و شرایط محل استقرار دستگاههای ثبت کننده و سایر عاملها، روی اندازه‌گیری جنبش نیرومند واقعی زمین اثر می‌گذارد.

به رغم اشکالات شناخته شده^۱ بیشینه مقادیر جنبش زمین (PGA)، از جمله عدم امکان پیش‌بینی آن در میدان نزدیک یا وضعیت متعارف آنها در فرکانسهای بالا، که از نظر مهندسی اهمیت چندانی ندارد، هنوز این پارامتر از مورد استفاده‌ترین عناصر برای تعیین پارامترهای ارزیابی لرزه‌ای در تحلیل سدها به شمار می‌آید. برای برآورد این پارامتر، روابط کاهیدگی بسیاری در سالهای اخیر ارائه و گسترش یافته است. در عین حال که در این نشریه، توصیه استفاده از یک رابطه کاهیدگی خاص در ارتباط با بیشینه مقادیر شتاب زمین (PGA) مورد نظر نیست اما مقادیر متوسط وزندار حاصل از قابل قبول‌ترین و مطمئن‌ترین روابط ارائه شده برای این متغیر، باید مدنظر قرار گیرد. برای مثال در ایالات

1-Effective

متحدۀ آمریکا غالباً مراجع زیر مورد استفاده قرار می‌گیرند.*

- Ambraseys, 1973, 1978 [2].
- Trifunac and Brady, 1975 [46].
- Campbell, 1981 [8].
- Boore and Joyner, 1982 [7].
- Bolt and Abrahamson, 1982 [6].
- Seed and Idriss, 1982 [43].
- Idriss, 1985 [23].

عموماً مطلوب است که ابتدا PGA برای سنگ بستر تعیین شود (همانطور که تمامی مراجع پیش گفته شده، روابط کاهیدگی را برای سنگ بستر یا خاکهای سخت ارائه می‌دهند). سپس این مقادیر، بر حسب نیاز شرایط ویژه ساختگاه تصحیح می‌شود. از جمله شرایط ویژه ساختگاه، «توپوگرافی» یا «آبرفت با ژرفای زیاد» است که در آنها شتابهای میدان آزاد در مقایسه با بستر سنگی به طور معمول دارای انرژی بیشتری در موجهای با پریود بلند است.

پارامتر خطا در روابط کاهیدگی و اهمیت آماری مقادیر پیش‌بینی شده (مقادیر حداکثر مطلق، مؤثر، میانه، میانگین، میانه به علاوه یک انحراف از معیار) باید قبل از استفاده در کارهای تحلیلی، به دقت مورد ارزیابی قرار گرفته و درک شوند. در کارهای متعارف طراحی سدها، تمایل به استفاده از مقادیر میانه بیشتر است تا استفاده از مقادیر زیاد بیشینه مقادیر شتاب زمین (PGA)، زیرا محافظه‌کاری مورد نیاز در جاهای دیگر از جمله مختصات^۱ طیفی (به بخش ۴-۴ مراجعه کنید)** به کار رفته است.

* مترجم: پس از انتشار این بولتن روابط کاهیدگی معتبر زیادی در دنیا ارائه شده است (از جمله 1990; campbell, 1993; Sadiq, 1996; Ambraseys, ...). پیشنهاد می‌شود در صورت امکان از روابطی استفاده شود که با ویژگیهای لرزه‌خیزی پهنا ایران سنخیت داشته باشد.

1-Ordinates

** مترجم: در متن اصلی بخش ۴-۴ وجود ندارد و موضوع مورد نظر در بخش ۳ پیوست ۲ ارائه

همچنین، تاکنون تعدادی رابطه کاهیدگی برای بیشینه سرعت داده شده است، بیشینه سرعت ممکن است عملاً شاخص بهتری از PGA به ویژه در میدان نزدیک برای بیشینه مقادیر جابجایی یا برای مؤلفه قائم جنبش زمین باشد.^{*} جنبش قائم می‌تواند در میدان نزدیک کاملاً مهم باشد و ارزیابی کامل آن برای تمام ساختگاههایی که در میدان نزدیک قرار گرفته‌اند توصیه می‌شود. برای مکانهایی که خارج از میدان نزدیک قرار دارند می‌توان بیشینه مقادیر شتاب مؤلفه قائم را به طور محافظه کارانه بین دوسوم و یک دوم مؤلفه افقی انتخاب نمود.

۲- مدت لرزش^۱

مدت لرزش، یکی از مهمترین پارامترهای ارزیابی لرزه‌ای سدهاست و نشان داده شده که این پارامتر با میزان آسیبهای وارده به آنها به ویژه در مورد سدهای خاکی ارتباط مستقیم دارد. مدت لرزش را می‌توان با روشهای مختلف برآورد کرد. مدت لرزش محصور شده^۲ که زمان اندازه‌گیری شده بین اولین و آخرین مقدار شتاب بیش از $0.05g$ در فرکانسهای بالای ۲ هرتز است [4] و مدت لرزش هوسید^۳ [22] که در ارتباط با میزان کل انرژی یک نگاشت است از نظر مهندسی حایز اهمیت است. چانگ و کرینیتزکی^۴ [10] چند رابطه تجربی بین بزرگا و مدت لرزش را ارزیابی کرده و منحنی‌هایی را که مدت لرزش محصور شده، بزرگا و فاصله رومرکز را به هم مرتبط می‌سازند برای شرایط سنگ و خاک ارائه داده‌اند. هاووزنر^۵ [21] برآوردهای بازنگری شده مدت لرزش در میدان نزدیک را نیز ارائه داده است. شرایط محلی نیز می‌تواند مدت لرزش قابل انتظار را تحت تاثیر قرار دهد که باید مورد به مورد مدنظر قرار گیرد.

شده‌است.

*- مترجم: روابطی که در سالهای پس از ۱۹۹۰ (پس از انتشار این رهنمودها) ارائه شده است عمدتاً می‌توانند مقادیر مؤلفه قائم را نیز ارائه دهند.

1- Duration

2- Bracketed duration

3- Husid duration

4- Chang and krinitzsky

5- Housner

۳- طیف پاسخ

طیف پاسخ، نشانگر بیشینه مقادیر پاسخ (شتاب، سرعت یا جابجایی) بر حسب فرکانس برای یک نسبت میرایی معین سیستم یک درجه آزادی است که تحت تحریکی وابسته به زمان قرار گرفته باشد. طیف پاسخ برای MDE, OBE, RIE را می‌توان از روی بیشینه مقادیر شتاب، سرعت یا جابجایی زمین [19,41] یا با استفاده از شکل‌های طیفی تعمیم‌یافته، مستقل از زمین یا با توجه به ویژگی‌های ساختگاه^۱ به دست آورد.

سید و همکاران^۲ [44] شکل‌های طیفی کلی را برای حالت میانه^۳، و میانه به علاوه یک انحراف از معیار^۴ که برای ساختگاه‌های سنگی و دیگر ساختگاه‌ها، کار برد دارند ارائه داده‌اند. این نتایج به ویژه زمانی مفید هستند که بزرگای زمین‌لرزه طراحی نزدیک ۶/۵ باشد و این به دلیل داده‌هایی است که از روی آن طیف‌های مورد نظر به دست آمده‌اند. به دنبال آن مطالعات مشابهی توسط محرز [37] و کیرمیدیان و شاه^۵ [30] انجام شد. محرز [38] کار خود را تا ارزیابی اثر بزرگا و مدت لرزش روی طیف پاسخ، گسترش داد. روابط تجربی مختلفی برای برآورد ویژگی‌های طیفی جنبش زمین نزدیک چشمه لرزه‌زا، در بزرگا‌های متوسط تا زیاد برای ساختگاه‌های سنگی [26] و دیگر ساختگاهها [25] ارائه شده است. جوینر و بور^۶ [27]، دونوان^۷ [15] و ادريس^۸ [23] روش‌هایی را برای شکل‌های طیفی که برای بزرگا و فاصله بسط داده شده است ارائه داده‌اند و شکل‌های طیفی مؤلفه قائم توسط محرز [37]، ریزو و همکاران^۹ [42] منتشر شده است.

1- Site dependent or site independent

2- Seed, Ugas and Lysmer

3-Mean

4- Mean-plus-one standard deviation

5- Kiremidyan and shah

6- Joyner and Boore

7- Donovan

8- Idriss

9- Rizo

هم‌اکنون مشخص شده که استفاده از شکل‌های طیفی تعمیم یافته در زمانی که انتظار رویدادهای بزرگ می‌رود هنوز قابل قبول است. ولی اگر بزرگای کنترل کننده^۱ بیشتر از ۶/۰ نباشد استفاده از این شکل‌های طیفی خیلی زیاد محافظه‌کارانه خواهد بود [29]. اخیراً در حرفه مهندسی سد، تأکید زیادی در دادن اعتبار به طیف پاسخ، با توجه به ویژگیهای ساختگاه، شده است. توصیه می‌شود هنگام استفاده از شکل‌های طیفی تعمیم یافته، هماهنگی آنها - در مواردی که ممکن باشد - با طیف پاسخ زمین‌لرزه‌های قبلی که برای ساختگاه حاصل شده و طیف پاسخ زمین‌لرزه‌هایی که با خصوصیات مشابه به دست آمده است، ارزیابی و کنترل شود.

شکل‌های طیفی معمولاً به صورت بهنجار شده (مثلاً برای 1g به مقیاس در آورده می‌شوند) تهیه شده‌اند. برای تعیین جنبش لرزه‌ای، طیفها را به صورت یکنواخت به مقیاس در می‌آورند. در بسیاری از حالتها این طیفها را برای مقدار خاص بیشینه شتاب، سرعت یا دیگر پارامترهای کاربردی زمین‌لرزه (از جمله شدت طیفی)، مستقل از پرپود مورد نظر به مقیاس در می‌آورند. برای تحلیل‌های محافظه‌کارانه‌تر سدها، غالباً از شکل طیفی میانه به علاوه یک انحراف از معیار استاندارد استفاده می‌شود به شرط آن که شکل طیفی با استفاده از مقدار میانه یک پارامتر زمین‌لرزه نظیر بیشینه مقادیر شتاب زمین به مقیاس درآمده باشد.

اگر انتظار زمین‌لرزه‌های کم ژرفا می‌رود باید محتوای فرکانسی طیف به سمت محدوده فرکانسهای بالا انتقال یابد چنانکه در برخی از زمین‌لرزه‌های اروپا مشاهده شده است [23].

به جای استفاده از شکل‌های طیفی، می‌توان از روابط کاهیدگی که برای تعیین دامنه مختصات طیفی کاربرد دارند استفاده کرد [9, 20, 28, 34] و بدین وسیله می‌توان پارامترهای طیف پاسخ را به طور مستقیم به تابعی از بزرگا، فاصله، فرکانس و در برخی موارد شرایط خاک برآورد کرد.

1- Controlling magnitude

تعداد و مقادیر میرایی که باید طیف پاسخ آنها برای بزرگترین زمین لرزه طراحی (MDE)، زمین لرزه مبنای بهره‌برداری (OBE) یا زمین لرزه القایی مخزن (RIE) تعیین شود باید متناسب با نوع سد و میزان جنبش لرزه‌ای آن باشد. برای مثال، نوعاً، مقادیر میرایی برای تحلیل سدهای بتونی از ۳ تا ۱۰ درصد متغیر است و بستگی به این دارد که پاسخ سد به صورت الاستیک فرض شده باشد یا به صورت پدیده‌های غیرخطی، مانند ترک خوردن بتن، که در این صورت به شکل غیرمستقیم، با فرض یک سطح میرایی بالاتر در تحلیل مدنظر قرار می‌گیرد. مقادیر میرایی برای تحلیل سدهای خاکی بین ۵ تا ۲۰ درصد متغیر است ولی برای تکانهای قوی در محدوده بیشتر از ۱۵ درصد است.

میرایی ۵ درصد برای تعیین ویژگیهای جنبش لرزه‌ای و مقایسه طیف پاسخ زمین لرزه‌های مختلف رایج‌ترین مقدار میرایی است و دلیل اصلی آن وجود شکل‌های طیفی تعمیم‌یافته برای این میرایی می‌باشد.

۴- شتابنگاشت‌ها

تعیین پارامترهای لرزه‌ای با استفاده از مقادیر بیشینه جنبش زمین و ویژگیهای طیفی برای بسیاری از سدها کافی است. با وجود این، ارزیابی سدهای بحرانی و روشهای تحلیل غیرخطی ایجاب می‌کند که جنبش لرزه‌ای را در حوزه زمان به صورت شتابنگاشت مشخص کرد. توصیه می‌شود که از چندین شتابنگاشت برای هر یک از سطوح مختلف طراحی مانند بزرگترین زمین لرزه طراحی (MDE)، زمین لرزه مبنای بهره‌برداری (OBE) و زمین لرزه القایی مخزن (RIE) استفاده شود، چون در برخی از شتابنگاشت‌ها بعضی از فرکانسها دارای انرژی کمتری هستند و به کارگیری آنها باعث انجام یک تحلیل غیرمحافظه‌کارانه می‌شود. شتابنگاشت‌ها را می‌توان برای مؤلفه‌های افقی و یا قائم جنبش زمین مشخص کرد و ترجیحاً، باید از شتابنگاشت‌های واقعی به دست آمده برای ساختگاههایی با شرایط مشابه ساختگاه استفاده نمود.

از آنجا که هم اکنون، اطلاعات قابل دسترس جنبش نیرومند زمین، تمامی حالت‌های ممکن را دربر نمی‌گیرد این نگاشتها را غالباً باید همراه با نگاشتهای مصنوعی که نشانگر زمین‌لرزه و شرایط لرزه‌زمینساختی محیط است مورد استفاده قرار داد. زمین‌لرزه‌های مصنوعی را می‌توان با روشهای برهم‌نهی^۱، فرآیند تصادفی آماری^۲ یا با شبیه‌سازی ریاضی^۳ گسیختگی گسله به وجود آورد. اما باید تأکید کرد که جمع‌آوری نگاشتهای واقعی زمین‌لرزه‌ها، نصب سیستم‌های مورد نیاز برای ثبت جنبش نیرومند زمین و گردآوری اطلاعات آنها مطمئن‌ترین راه برای دستیابی به داده‌های پایه - به منظور مشخص کردن ویژگیهای جنبش زمین‌لرزه‌ای - است که به سدها اعمال می‌شود.

۱-۴ روشهای برهم‌نهی

ساده‌ترین راه تهیه نگاشت با یک مدت لرزش و بیشینه مقادیر جنبش معین عبارت است از به‌کارگیری قسمتهای مختلف نگاشت زمین‌لرزه‌های واقعی که دامنه آنها بر حسب نیاز و با عاملهای مناسب به مقیاس درآمده‌اند. مثال شناخته شده این روش زمین‌لرزه سید-ادریس (1968) است که از کنار هم گذاردن قسمتهای مختلف شتابنگاشتهای واقعی به منظور شبیه‌سازی جنبش لرزه‌ای یک رویداد بزرگ روی سنگ‌بستر حاصل از یک شکستگی پیش رونده و پی‌درپی روی قطعات و در امتداد یک گسله امتدادلغز می‌باشد. تصحیح نگاشتهای زمین‌لرزه‌های واقعی با فشرده کردن یا بزرگ کردن مقیاس زمان^۴ نیز امکان‌پذیر است ولی باید با احتیاط زیاد صورت پذیرد چون شتابنگاشت به دست آمده ممکن است روابط غیر واقعی فازی^۵ از خود نشان دهد. تأخیرهای فاز^۶ انتخاب شده نیز می‌تواند نشانگر انتشار گسیختگی را روی یک گسله نشان دهد [47]. تصحیح خط مبنا^۷ باید برای تمامی زمین‌لرزه‌های مصنوعی که با روش برهم‌نهی یا روشهای دیگر به دست آمده‌اند انجام شود، این

1- Superposition

2- Stochastic

3- Mathematical simulation

4-Time-scale

5- Unrealistic phase

6- Phase delays

7- Base - line correction

عمل به منظور حذف راندهای با پریودهای طولانی در نگاشتهای سرعت و جابجایی باید همانند تصحیح نگاشتهای واقعی صورت پذیرد.

کاربرد دیگر روش برهم نهی عبارت از شبیه سازی خاص پالس نگاشتهای تأیید شده سرعت و شتاب، همانند آنچه که در چند نگاشت میدان نزدیک مشاهده شده است [5]. باز جهش الاستیک^۱ و عبور یک گسله از نزدیکی ساختگاه از عاملهای اولیه این پالس ها می باشد.

در نوع دیگر روش برهم نهی می توان تبدیل فوریه یک شتابنگاشت واقعی را به دست آورد و در حوزه فرکانس با حفظ زوایای فاز اولیه^۲، به صورت انتخابی بعضی از دامنه های فوریه جنبش را تغییر داد و تنظیم نمود. سپس می توان با استفاده تبدیل معکوس فوریه، دامنه های اصلاح شده فوریه و زوایای فاز اولیه را با هم ترکیب و در حوزه زمان، شتابنگاشت مورد نظر را به دست آورد. شتابنگاشت به دست آمده به طور کلی شبیه شتابنگاشت اولیه است ولی دارای نواقص طیفی کمتری خواهد بود. در این روش، شتابنگاشتی به دست می آید که دارای یک شکل طیفی مشخص است.

۲-۴ فرایندهای تصادفی

چون ظاهر شتابنگاشتها اغلب به صورت توابع تصادفی در حوزه زمان^۳ است برای نشان دادن جنبش لرزه ای زمین روشهای محاسباتی ارائه شده که در آنها از نوفه سفید^۴، نوفه سفید فیلتر شده یا نوفه سفید فیلتر شده نایستا^۵ استفاده شده است. نداشتن نواقص طیفی، اصلی ترین امتیاز شتابنگاشتهای حاصل از این روش بوده ولی این روش به قیمت نشان دادن تعداد بسیار زیاد پالس های شتاب و روابط فازی غیر واقعی تمام می شود.

1- Elastic rebound

2- Original phase angle

3- Random time functions

4- White noise

5- Non-stationary filtered white noise

شتابنگاشتهای تصادفی باید با دقت و احتیاط کامل برای تحلیل سدها مورد استفاده قرار گیرد و مهندسان در کاربرد آنها به ویژه در مورد سدهای خاکی باید قضاوتهای شایان توجهی را به عمل آورند زیرا عملکرد سدهای خاکی به طور مستقیم بیشتر بستگی به دوره‌های تنش دایره‌ای دارد تا به بیشینه مقدار تنش. تحلیل سدهای بتنی حساسیت کمتری به استفاده از شتابنگاشتهای تصادفی به عنوان ورودی دارد. استفاده از شتابنگاشتهای تصادفی برای هیچ تحلیل غیرخطی توصیه نمی‌شود.

۳-۴ مدل‌های گسله-گسیختگی^۱

جنبش لرزه‌ای زمین را می‌توان با این فرض که گسیختگی یک گسله در امتداد سطوح یا قسمتهای پشت سرهم در امتداد بخشی از طول آن که بین ژرفاهای محدود شده پیش می‌رود برآورد کرد. برای شبیه‌سازی جنبش لرزه‌ای زمین ناشی از گسیختگی پیش‌رونده گسله‌ها، می‌توان از فرضیات مکانیکی و ژئوفیزیکی تجربی در روشهای پیچیده عددی که شامل فرآیندهای لغزش بخشهای بنیادی به صورت تعینی و آماری است استفاده کرد. به نظر می‌رسد این روشها که توسط آکی [1] بررسی شده است می‌تواند برآوردهای معقولی از ویژگیهای فضایی و زمانی جنبشهای زمین را بر حسب بزرگای به دست دهد ولی نتایج آن قبل از این که به صورت یک مبنای معمول برای تحلیل سدها به کار گرفته شود، باید بیشتر بررسی شود. این روش در اینجا فقط برای اطلاع و آگاهی ذکر شده است.

۵- ارزیابی خطر لرزه‌ای با روش احتمالی

ارزیابی خطر لرزه‌ای با روش احتمالی (ارزیابی در معرض خطر لرزه‌ای بودن)، شامل برآورد رابطه بین پارامترهای جنبش زمین و احتمال فزونی آنها در ساختگاه برای یک بازه زمانی خاص (به طور مثال عمر مفید مخزن سد) با استفاده از روشهای ریاضی و آماری است. پس از تعریف سطح قابل

1- Fault - rupture model

قبول احتمالی برای سازه و ساختگاه مورد نظر، مقدار پارامترهای جنبش لرزه‌ای برای ارزیابی ایمنی لرزه‌ای سد انتخاب می‌شود. استانهای لرزه‌ای و گسله‌های بالقوه فعال یا شناخته شده به صورت فعال، به عنوان چشمه‌های لرزه‌ای در نظر گرفته می‌شوند. یک استان لرزه‌ای به ناحیه‌ای اتلاق می‌شود که مکان گسله‌های فعال در آن به خوبی شناخته نشده باشد. ولی می‌توان به صورت معقول فرض کرد که فعالیت لرزه‌ای به صورت تصادفی و آماری در آن توزیع شده است. موقعیت مکانی چشمه‌های لرزه‌ای با اهمیت نسبت به ساختگاه، نرخ رویداد متناسب به هر چشمه لرزه‌زا، پایه‌های اساسی مدل خطر لرزه‌ای ساختگاه مورد نظر را تشکیل می‌دهند. این مدل باید با شرایط زمین ساختی و زمین‌شناسی محدوده مورد مطالعه و همچنین نرخ فعالیت لرزه‌ای گذشته و زمین‌شناسی مورد نظر برای گسله‌ها هماهنگی داشته باشد.

ارزیابی خطر لرزه‌ای یک ساختگاه ناشی از یک چشمه لرزه‌زا شامل هم‌آمیخت^۱ سه تابع احتمال زیر است. [12,13,14,16,31,33,36]:

- ۱- احتمال وقوع زمین لرزه با یک بزرگای خاص در چشمه لرزه‌زا در یک فاصله زمانی مشخص
- ۲- احتمال وقوع گسیختگی متناسب به چشمه لرزه‌زا با یک بزرگای مشخص در یک فاصله خاص از ساختگاه
- ۳- احتمال فزونی مقادیر حرکت زمین از یک حد معین، ناشی از زمین لرزه‌ای با بزرگا و فاصله مشخص از ساختگاه.

با ترکیب این سه تابع، احتمال برای هر چشمه لرزه‌زا و جمع‌بندی آن برای کلیه چشمه‌ها، همچنین احتمال فزونی جنبش زمین از یک حد مشخص در ساختگاه برای یک فاصله زمانی خاص، قابل محاسبه است.

1- Convolution

برتری‌های استفاده از ارزیابی خطر لرزه‌ای به روش احتمالی از روش تعیینی شامل موارد زیر است:
الف: نقش زمین‌لرزه‌ها از بزرگای آستانه تا بزرگای بیشینه برای هر چشمه لرزه‌زا در نظر گرفته می‌شود.

ب: کلیه چشمه‌های لرزه‌زا و فواصل آنها از ساختگاه در نظر گرفته می‌شود.

ج: نتایج حاصل، وسیله‌ای برای انتخاب پارامترهای طراحی لرزه‌ای است که می‌توانند درجه‌های قابل مقایسه‌ای از خطر پذیری را در چند ساختگاه به وجود آورند. احتمال وقوع MDE برای ساختگاهها را نه تنها بر اساس بررسی جامع داده‌های لرزه‌ای، نوع، اهداف و عمر مفید برنامه‌ریزی شده سد، بلکه باید بر پایه میزان خطر پذیری سازه نیز تعیین کرد (به بخش ۳-۵ مراجعه کنید).

باید خاطر نشان ساخت که در یک ارزیابی نوعی خطر لرزه‌ای به روش احتمالی، به تمامی بزرگها یک وزن مساوی داده شده است. برای بیشتر سدها، به ویژه سدهای خاکی تکانهای ناشی از زمین‌لرزه‌های بزرگ به علت اثر مدت لرزش آنها خیلی جدی‌تر از تکانهای حاصل از زمین‌لرزه‌های کوچکتر است.

این جنبه از مسئله را می‌توان با استفاده از عاملهای وزنی مناسب بزرگا برای شتاب و مختصات طیفی مورد ارزیابی قرار داد [23].

طرح استانداردهای مهندسی آب کشور

تهران، خیابان فلسطین شمالی، کوچه شهید پرویز روشن، شماره ۳۷۰

تلفن ۸۹۰۸۱۶۹-۸۸۰۱۲۰۰

نمابر ۸۸۹۳۱۳۷

<http://www.wrm.or.is/wstandard>

E-mail standard@wrm.or.ir

ISBN 964-92485-3-6



9 789649 248530