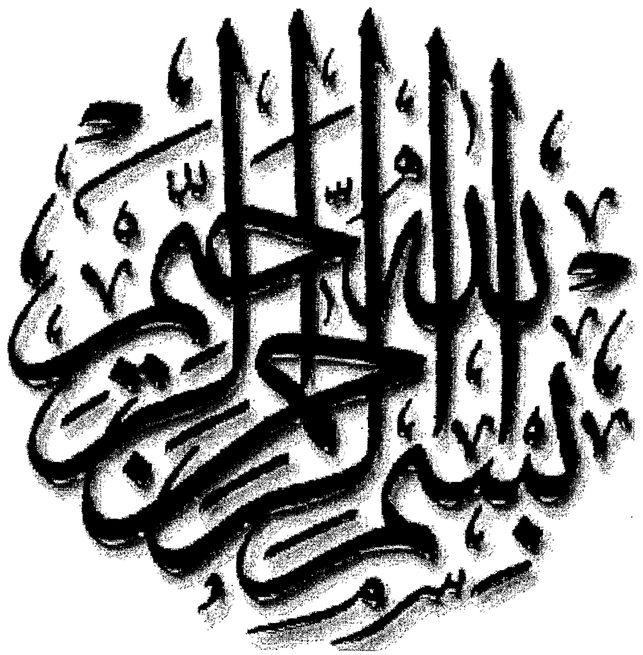

مرکز اطلاعات و مدارک علمی ایران
تقدیم به مرکز

دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده عمران

۱۳۸۱ /۴/ ۲۶

تحلیل دینامیکی سدهای خاکی و بررسی اثر پارامترهای هندسی و مشخصات مصالح بر روی پاسخ لرزه ای آن ها

پایان نامه کارشناسی ارشد عمران - خاک و پی

۴۱۰/۲

حسن برزگری

استاد راهنما

دکتر محمود وفائیان

۱۳۸۰

دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده مهندسی عمران

پایان نامه کارشناسی ارشد گرایش خاک و پی - **آقای حسن برزگری**

تحت عنوان :

تحلیل دینامیکی سدهای خاکی و بررسی تأثیر پارامترها و بخش های مختلف سد بر پاسخ لرزه‌ای آن ها

در تاریخ ۱۴/۸/۸۰ توسط کمیته تخصصی زیر مورد بررسی و تصویب نهائی قرار گرفت.

۱ - استاد راهنما — دکتر محمود وفائیان .....

۲ - استاد مشاور — دکتر بیژن برومند .....

۳ - ممتحن مدعو (از دانشکدهٔ مهندسی دانشگاه شیراز) — دکتر قاسم حبیب آگهی .....

۴ - ممتحن مدعو (از دانشکدهٔ معدن) — دکتر حمید هاشم الحسینی .....

۵ - سرپرست تحصیلات تکمیلی دانشکده — دکتر محمود قضاوی .....

اکنون که با لطف و عنایت خداوند متعال پایان نامه کارشناسی ارشد را به پایان رسانده ام، بر خود لازم می دانم که از زحمات و هم فکری های اساتید ارجمند جناب آقای دکتر محمود وفائیلن و دکتر بیژن برومندکه بدون راهنمایی های ارزنده ایشان انجام این پروژه ممکن نبود تشکر نمایم. همچنین از تمامی کسانی که به نحوی در تهیه و تدوین این پایان نامه مرا یاری نموده اند، صمیمانه تشکر و قدردانی می کنم.

کلیه حقوق مادی مترتب بر نتایج مطالعات، ابتکارات و نوآوریهای ناشی از تحقیق موضوع این پایان نامه متعلق به دانشگاه صنعتی اصفهان است.

مرکز اطلاعات و مدارک علمی ایران
تهیه کننده مدارک

تقدیم به: پدر بزرگوار و فداکارم

مادر مهربان و دلسوزم

برادر گرامی ام حسین

دو خواهر عزیزم

و تقدیم به تمامی پویندگان راه حق

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فهرست مطالب	هشت
چکیده	۱
فصل اول : کلیات	
۱-۱- مقدمه	۲
۱-۲- مطالعه رفتار سد های خاکی تحت اثر زلزله	۳
۱-۳- روش های مطالعه پایداری خاکریز در مقابل زلزله	۸
۱-۳-۱- روش های آزمایشگاهی	۸
۱-۳-۱- الف- آزمایش میز لرزان بزرگ	۸
۱-۳-۱- ب- آزمایش های گریز از مرکز	۸
۱-۳-۲- روش های ریاضی	۹
۱-٤- هدف و روش تحقیق در مطالعه حاضر	۹
فصل دوم : تاریخچه روش ها و مطالعات	
۲-۱- مقدمه	۱۰
۲-۲- تحلیل شبه استاتیکی	۱۰
۲-۳- روش های ساده برای تخمین تغییر شکل های ایجاد شده	۱۲
۲-۳-۱- روش نیومارک	۱۲
۲-۳-۲- روش سارما	۱٤
۲-۳-۳- روش ماکدیسی و سید	۱٦
۲-۳-٤- روش مینیرو	۱٦
۲-۳-٥- مقایسه روش های مختلف	۱٥
۲-٤- تعیین پاسخ لرزه ای سدهای خاکی	۱۷
۲-٤-۱- مدل تیر برشی	۱۷
۲-٤-۲- استفاده از روش اجزای محدود خطی	۱۸
۲-٤-۳- استفاده از روش اجزای محدود غیرخطی	۲۲
۲-٤-٤- استفاده از روش توام اجزای محدود و اجزای مرزی	۲٥
۲-٤-٥- مروری بر نرم افزارهای تحلیل دینامیکی محیط های خاکی	۲٦
فصل سوم : مفاهیم پایه ای المان محدود غیرخطی و پلاستیسیته	
۳-۱- استفاده از اجزای محدود غیرخطی در تحلیل ها	۲۹
۳-۱-۱- روابط استفاده شده برای کرنش های بزرگ در انسیس	۳۰

۳-۱-۲- توابع شکل و نقاط انتگرال گیری ۳۲
۳-۲- استفاده از روابط پلاستیسیته برای بیان رفتار خاکها ۳٤
۳-۲-۱- مفاهیم پایه ای در تئوری پلاستیسیته ۳٤
۳-۲-۱- الف- معیار تسلیم ۳٤
۳-۲-۱- ب- قانون جریان ۳۵
۳-۲-۱- ج- قانون سخت شوندگی ۳۵
۳-۲-۲- نمو کرنش پلاستیک ۳٦
۳-۲-۳- روند استفاده از روابط پلاستیسیته در انسیس ۳۷
۳-۲-٤- مدل پلاستیسیته سخت شونده با چندین سطح تسلیم ۳۸
۳-۲-۵- مدل رفتاری پلاستیسیته با چند سطح تسلیم در انسیس ٤٤

فصل چهارم : معادلات تعادل و حل آن ها

٤-۱- گام های بار، زیر گام ها و تکرارهای تعادل ٤٦
٤-۲- روش نیوتن- رافسون ٤۷
٤-۳- همگرایی ۵۰
٤-٤- پیش بینی کننده ۵۱
٤-۵- خط جستجو ۵۲
٤-٦- حل معادلات دینامیکی گذرا ۵۳

فصل پنجم : تحلیل دینامیکی سدهای خاکی در شرایط مختلف

۵-۱- مقدمه ۵۵
۵-۲- زمین لرزه های مورد استفاده در طراحی سدها ۵٦
۵-۲-۱- سطح مبنای طراحی (DBL) ۵٦
۵-۲-۲- سطح بالای طراحی (MDL) ۵۷
۵-۲-۳- سطح بیشینه قابل قبول (MCL) ۵۷
۵-۲-٤- زمین لرزه مبنای عملکرد (OBE) ۵۷
۵-۳- انتخاب خواص دینامیکی خاک ٦۰
۵-۳-۱- وزن مخصوص کل ٦۰
۵-۳-۲- ضریب پواسون ٦۱
۵-۳-۳- مدول برشی ماکزیمم و تغییرات آن با تنش های موثر نرمال ٦۲
۵-۳-٤- تغییرات مدول برشی با کرنش برشی ٦۵
۵-۳-۵- تغییرات نسبت میرایی با کرنش برشی ٦۷
۵-٤- بررسی درستی استفاده از نرم افزار انسیس ۷۱
۵-۵- محاسبه فرکانس های طبیعی و شکل مودهای ارتعاشی ۷۸
۵-٦- بررسی اثر آب مخزن ۸۸

۵-۷- بررسی اثر مدول برشی و مقایسه تحلیل های خطی و غیرخطی ۹۴
۵-۸- بررسی اثر استهلاک ۱۰۵
۵-۹- بررسی اثر کرنش مرجع ۱۱۲
۵-۱۰- بررسی اثر غیرخطی هندسی ۱۱۸
۵-۱۱- بررسی اثر شیب پوسته ها ۱۲۴
۵-۱۲- بررسی اثر جنس مغزه ۱۳۱
۵-۱۳- بررسی اثر محل مغزه ۱۳۸

فصل ششم : نتیجه گیری و پیشنهاد
۶-۱- خلاصه ای از نتایج ۱۴۷
۵-۲- پیشنهادها ۱۵۲

مراجع ۱۵۳

پیوست یک(برنامه رایانه ای برای تغییر درصد استهلاک و کرنش مرجع در طول زلزله و محاسبه مدول برشی) ۱۵۷

چکیده:

سدهای خاکی، سازه‌های عظیم سه بعدی و غیر همگن هستند که از چند نوع مصالح با خواص غیرالاستیک ساخته می‌شوند. از این رو محاسبهٔ یا پیش بینی پاسخ دینامیکی آن ها به زلزله بسیار مشکل می‌باشد. بنابراین روش‌های موجود و رایج تحلیل دینامیکی سدهای خاکی شامل فرض‌های ساده‌کننده بسیاری می‌باشند.

پیشرفت های اخیر در هر دو زمینهٔ سخت‌افزار ونرم‌افزار بسیاری از مشکلات موجود در تحلیل دینامیکی سدهای خاکی از قبیل رفتار سه بعدی و غیر خطی مصالح را حل کرده است. ایمنی سدهای خاکی و سنگریزه‌ای در طی زلزله و بعد از آن به مشخصات پاسخ دینامیکی سد، شدت، محتوی فرکانسی و مدت زمان زلزله، شکل‌هندسی و خواص مصالح سد بستگی دارد.

منحنی تنش-کرنش مبنا به صورت هذلولی و متقارن نسبت به مبدا فرض شده است. رفتار تنش-کرنش هیسترتیک مصالح سد با استفاده از معادلات بنیادی الاستوپلاستیک بر مبنای تئوری پلاستیسیته چند سطحی کینماتیک مدل شده است، بنابراین احتیاجی به استفاده از میرایی ویسکوز در معادلات حرکت نیست.

در این رساله با فرض رفتار ناهمگن و غیرخطی برای مصالح، سدهای سانتافلسیا و لیروی اندرسون به ترتیب در برابر زلزله‌های سان فرناندو و مورگان هیل تحلیل شده‌اند؛ نتایج حاصل از تحلیل با نتایج اندازه‌گیری شده مقایسه و انطباق خوب تئوری و اندازه‌گیری نتیجه‌گیری شده است.

در این تحقیق، رفتار دینامیکی سدهای ۴۰ و ۱۲۰ متری به ترتیب در برابر زلزله‌های ال سنترو و طبس بررسی شده است. تنش‌ها، کرنش‌ها، جابه جایی‌ها، شتاب‌ها، کرنش‌ها و تغییرشکل ها ی ماندگار در نقاط مختلف سد محاسبه شده‌اند. نتایج تحلیل‌های دینامیکی خطی و غیر خطی، فرض رفتار همگن و ناهمگن برای مصالح سد، فرض ثابت و متغیر بودن میرایی و کرنش مرجع در طول زلزله مقایسه شده است. همچنین تاثیر آب مخزن، شیب پوسته‌ها، جنس مغزه و محل مغزه بر پاسخ دینامیکی سدهای خاکی با مغزه رسی بررسی شده است.

این مطالعه، اختلاف زیادی را مابین نتایج تحلیل های دینامیکی خطی و غیرخطی، مدل‌های همگن و ناهمگن، فرض ثابت و متغیر بودن میرایی و کرنش مرجع در طول زلزله نشان می دهد. آب مخزن، شیب پوسته‌ها، جنس مغزه و محل مغزه نیز تاثیر مهمی بر پاسخ دینامیکی سدهای خاکی با هستهٔ رسی دارند.

فصل اول
کلیات

۱-۱- مقدمه:

به طور متوسط در هر ده سال، یک زلزله بزرگ، بخش هایی از ایران را به ویرانی کشانیده است. اگر تعداد زلزله های کوچکتر و خسارات ناشی از آنها را در نظر بگیریم خواهیم دید که زلزله و خسارات ناشی از آن، همواره به صورت تهدیدی جدی علیه آسایش و اقتصاد مردم کشور ما بوده است. از سوی دیگر در سال های اخیر، زلزله های بزرگ که در کشورهای پیشرفته دنیا مانند ژاپن و ایالات متحده رخ داده است با تلفات انسانی و خسارات مالی ناچیز همراه بوده و در اکثر موارد تعداد کشته شدگان از چند نفر تجاوز نکرده است. این نکته ثابت می کند که برخورد علمی و مهندسی با مساله زلزله می تواند در کاهش خسارات و تلفات آن بسیار موثر باشد. همان طوری‌که در زلزله سال ۱۳۶۹ در منطقه شمال غرب ایران مشاهده شد، سازه ای نظیر سد سفید رود با ارتفاع ۱۰۶ متر و قدمت نسبتاً زیاد به علت محاسبه و طراحی درست در مقابل زلزله دچار آسیب کمی گردید در حالی‌که بیمارستان تازه ساز رودبار و منابع هوایی آب در رشت و آستانه به دلیل طراحی نامناسب به طور کامل ویران شدند به این ترتیب مساله طراحی سازه های مقاوم در مقابل زلزله به عنوان یکی از اهداف و وظایف مهم جامعه مهندسی عمران ایران به شمار می‌رود. از آن‌جا که

طراحی هر سازه در مرحله نخست متکی بر تحلیل آن می باشد، بنابراین بهبود روش‌های تحلیل می توانند عامل بسیار موثری در طراحی بهتر سازه های مقاوم در برابر زلزله باشند. در سال‌های اخیر پیشرفت روش های آنالیز عددی و افزایش سرعت و کاهش قیمت کامپیوترها امکان حل معادلات دینامیکی حاکم بر رفتار سازه‌ها را به طور وسیعی گسترش داده است بطوری که تحلیل دینامیکی سازه‌های بزرگ نظیر سدها، سریعاً جایگزین روش های تقریبی شبه استاتیکی گردیده و تعدادی از دانشگاه‌ها و موسسات تحقیقاتی و شرکت‌های مهندسی مشاور در کشورهای پیشرفته، اقدام به تهیه برنامه های کامپیوتری نموده‌اند که امکان تحلیل دینامیکی را در اختیار استفاده کننده قرار می دهند. لیکن تنها دسترسی به این برنامه‌ها برای انجام تحلیل دینامیکی کافی نبوده و لازم است که مبانی محاسباتی آنها به خوبی شناخته شده باشد تا بتوان نتایج به دست آمده را ارزیابی کرد.

بحث سدهای خاکی در دنیا و به خصوص در کشورمان با توجه به ابعاد بزرگ سازه و تعداد آنها بحث مهمی است. اجرای سدهای خاکی به دلیل شرایط تکیه‌گاهی ساده تر رشد فزاینده‌ای در مقایسه با انواع دیگر سدها داشته و درچند سال اخیر، چندین سدخاکی با ارتفاع بیش از ۳۰۰ متر در کشورهای دیگر طراحی و اجرا شده اند. از طرف دیگر نیروی زلزله از جمله مهمترین نیروهایی است که در مناطق زلزله خیز بر سدها تاثیر می گذارند، به این علت، تحلیل دینامیکی امری اجتناب ناپذیر به نظر می رسد.

تحلیل دینامیکی سدهای خاکی به کمک نرم افزارهای کامپیوتری از حدود سال های ۱۹۶۵ آغاز شد. ابتدا پارامترهای مقاومتی خاک را مقادیر ثابتی در نظر می گرفتند که خطای زیادی وارد محاسبات می شد. به تدریج برنامه‌ها کاملتر شدند و این سیر تکامل هنوز هم ادامه دارد تا هر چه بهتر بتوانند رفتار واقعی سد (ازجمله نیروی زلزله و رفتار مصالح درحین ارتعاش) را مدل کنند.

۱-۲- مطالعه رفتار سدهای خاکی تحت اثر زلزله:

در چند سال اخیر مطالعات بر روی رفتار لرزه ای سدهای خاکی و سنگریزه ای پیشرفت زیادی کرده و روش‌های تحلیلی زیادی گسترش یافته‌اند، به طوری‌که به این گونه مسائل می توان با دید وسیعتری نگاه کرد. در حالی که قبلا بسیاری از مسائل ناشناخته بودند. اما امروزه، روش های آزمایشگاهی و محلی، رفتار دینامیکی مصالح را به خوبی برآورد می کنند.

از طرفی با انجام مطالعات محلی زیاد و دردست داشتن نتایج آزمایشگاهی ارتعاشی درمحدوده وسیع، اکنون قادریم دقت روش‌های تحلیلی را به کمک نتایج عملی افزایش دهیم. لازم به ذکر است که هر روش پیشنهاد شده نباید به جواب‌های تحلیلی اکتفا کند، بلکه باید اطلاعاتی بدهد که به صورت عملی پشتوانه تصمیم گیری‌های مهندسی باشد.

همه مراحل اصلی یک تحلیل خوب باید چنان دقتی داشته باشند که نتایج آن، مهندس را در ارزیابی نهایی پایداری لرزه ای به خوبی کمک کند. این ارزیابی نهایی فقط به کمک نتایج عددی امکان‌پذیر نیست بلکه به کمک مهندسین با تجربه‌ای امکان‌پذیر است که با مشکلات تعیین زلزله طراحی و خصوصیات مصالح آشنا باشند، کسانی که با نقاط قوت و ضعف مراحل تحلیل آشنا بوده و بالاخره کسانی که تجربه‌های لازم را از پروژه‌های قبلی کسب کرده باشند. از آن‌جا که مطالعه دقیقی از رفتار سدها به هنگام وقوع زلزله کمک زیادی به طراحی سد در هنگام زلزله می کند در جدول (۱-۱) آماری از رفتار مشاهده شده ۲۱ سد آورده شده است که این سدها در لایه‌های مختلف قرار داشته و سطح مقطع و مراحل ساخت گوناگونی داشتند.

با وجود کمبود اطلاعات می توان مکانیزم‌های تخریب را به شرح زیر مشاهده کرد:

- لغزش یا اعوجاج برشی[1] در خاکریز یا در شالوده و یا در هر دوی آنها.
- ترک‌های عرضی.
- ترک‌های طولی.
- حذف شدن ارتفاع آزاد که در اثر نشست(تحکیم و تراکم) خاکریز یا شالوده ایجاد می شود.
- خرابی آبگذرهای زیرزمینی.
- سرریز آب از روی تاج در اثر امواج دریاچه.
- سرریز آب از روی تاج سد در اثر لغزش یا سقوط تخته سنگ‌ها به داخل دریاچه.
- گسیختگی سد در اثر حرکت یک گسل اصلی در شالوده.
- حرکات تکتونیکی زمین به مقدار کم.
- خرابی سرریز یا مجاری خروجی.
- به وجود آمدن رگاب در اثر ترک‌های ایجاد شده ناشی از حرکت زمین.

۱-Shear distortion

۲- Piping failure

- روانگرایی خاکریز یا شالوده.

البته خرابی‌هایی که در بالا اشاره شد الزاماً به یکدیگر بستگی ندارند.با توجه به جدول (۱-۱) نتایج زیر را در حالت کلی می توان گرفت:

۱-سدهایی که به روش هیدرولیکی ساخته می شوند(سدهای باطله) در برابر زلزله‌های بزرگ آسیب‌پذیرتر هستند ولی با وجود این، بیشتر این نوع سدها که با شیب مناسب روی شالوده خوب ساخته می شوند در مقابل زلزله‌های با ارتعاش زیاد و شتاب حداکثر ۰/۲ g و بزرگی ٦/٥ تخریب نمی شوند ولی ممکن است آسیب بینند.

۲-یکی از علل اولیه آسیب دیدن و یا خرابی سد، افزایش فشار آب حفره‌ای در خاکریز است که باعث کاهش مقاومت می‌شود.

۳-سدهایی که به طور کامل ویران می شوند یا از لایه‌های ماسه‌ای اشباع تشکیل یافته‌اند و یا روی شالوده ماسه‌ای اشباع قرار گرفته‌اند.

٤-سدهایی که خوب احداث شده‌اند در مقابل ارتعاش متوسط با شتاب ماکزیمم تا حدود ۰/۲g اصلاً آسیب نمی بینند.

٥-سدهای سنگریزه‌ای با رویه بتنی در مقابل ارتعاشات قوی تغییرشکل کوچکی داده و پایدار می مانند. با وجود این‌که سدهای خوب احداث شده در مقابل ارتعاشات متوسط رفتار خوبی نشان داده‌اند ولی باید رفتار سدهای خاکی در زلزله‌های بزرگ مورد توجه قرار گیرند. همان طورکه اشاره شد در گذشته سدهای خاکی زیادی تحت اثر زلزله، تخریب و یا آسیب های زیادی متحمل شده اند به این منظور، طراحی سدها برای تامین پایداری در مقابل زلزله در مناطق زلزله خیز امری اجتناب ناپذیر به نظر می رسد[۱].

جدول ۱-۱- رفتار سدها به هنگام زلزله [۱]

رفتار سد	مشخصات زلزله	تکنیک ساخت	مشخصات سد	سال ساخت	H(m)	L(m)	کشور	نام سد
لغزش شیب در پوستهٔ بالا دست	تانگشان، ۱۹۷۶ I =٦		سد ناهمگن: پوسته از نوع شن ماسه دار و هستهٔ شیب دار رسی		٦٠	۹٦٠	چین	بایحه
نشست تاج در حدود ۰/۳۸ m	ایلاپل، ۱۹٤۳، M =۳/۸	پاره سنگ انبار شده	سد پاره سنگی با لایهٔ بتنی در بالادست	۱۹۳۹	۸٤	۱٥۹	شیلی	گوگوتی
ترک های طولی و نشست تاج در اثر روانگرایی شالوده	تانگشان ۱۹۷٦ و I=٦ و شتاب افقی ۰/٤g		همگن	۱۹۷۰	۲۲	٦۰۰۰	چین	دوهه
تغییر شکل طولی و عرضی، نشست تاج حدود ۱٦۰ mm	زلزلهٔ ۱۹سپتامبر ۱۹۸٥ M=۸/۱	تراکم	سد ناهمگن با پوستهٔ سنگریزه ای و هستهٔ رسی	۱۹۸٥	۱۲٦		مکزیک	ال کاراکول
ترک های طولی به عمق ۰/٦۰ m	زلزله های ۱۹۸۱و ۱۹۷۹ M =۷/٦	تراکم	سد ناهمگن با پوستهٔ سنگریزه ای و هستهٔ رسی	۱۹٦۳	۱٤۸	۳٥۰	مکزیک	ال اینفیرنیلو
	زلزله ۱۹٦۹ M=٦/٦	تراکم	سد ناهمگن با پوستهٔ سنگریزه ای و هستهٔ رسی مایل	۱۹٦٤	۱۲۸	۳۳٥	ژاپن	کوزوریو
لغزش شیب در بالادست و پایین دست، روانگرایی مصالح ماسه ای	زلزلهٔ ۳ مارس ۱۹۸٥ M=۷/۸	تراکم٪۸۸-۸٥ تراکم استاندارد	سد ناهمگن با پوستهٔ سیلتی و هستهٔ نفوذناپذیر	۱۹٤۳	۱۰	۲۲۰	شیلی	لامارکوسا
ترک های طولی به طول ۱٥۰ m و به عمق ۰/٥ m	زلزله های ۱۹۸۱و ۱۹۷۹ M=۷/۱-۷/٦ a_{man}=۰/۳۱-۰/۳۸g		سد ناهمگن با پوستهٔ سنگریزه ای و هستهٔ مرکزی رسی	۱۹٦۸	٦۰	٤۲۰	مکزیک	لاویلیتیا
ترک های طولی به طول ۳۰۰ m و به عمق ۲ m متر	زلزله مورگان هیل ۱۹۸٤ a_{man} =۰/٤۲ g	هستهٔ متراکم شده پوستهٔ نامتراکم	سد ناهمگن با پوستهٔ سنگریزه ای و هستهٔ نفوذناپذیر	۱۹٥۰	۷۲	۳۷۰	آمریکا	لیروی اندرسون
شکستهایی در پنجهٔ پایین دست، ترک ها	زلزله ۲۷ می ۱۹۸۰، M=٦	متراکم کردن به اندازهٔ ۹۳٪ اشوی اصلاح شده	سد همگن از ماسهٔ سیلت دار به همراه شن	۱۹٤۱	٦۰	۲۰۰	آمریکا	لانگ ولی

مرکز اطلاعات و مدارک علمی ایران
تهیه مدارک