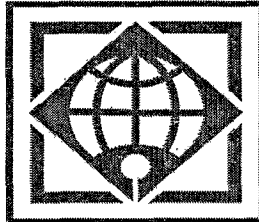


بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

٩٤٧

دانشگاه بین‌المللی امام خمینی



IMAM KHOMEINI
INTERNATIONAL UNIVERSITY

دانشگاه بین‌المللی امام خمینی

پایان نامه کارشناسی ارشد

مهندسی عمران - مهندسی خاک و پی

موضوع

آنالیز دینامیکی سدهای خاکی با هسته مرکب

دانشجو

مهدی رمضان پور فومشی

استاد راهنما

دکتر رضا ضیایی موید

استاد مشاور

دکتر مهرباب جسمانی

زمستان ۸۶

۱۳۸۷ / ۱۲ / ۲۸

۹۴۰۰۷

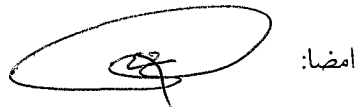
جلسه دفاع از پایان نامه آقای مهدی رمضان پور فومشی دانشجوی کارشناسی ارشد دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره) - دانشکده فنی و مهندسی - گروه عمران - خاک و پی با موضوع "آنالیز دینامیکی سدهای خاکی با هسته مرکب" در تاریخ ۱۳۸۶/۱۲/۱۲ برگزار گردید.

اعضای هیات داوران:

امضا: 

آقای دکتر رضا ضیائی مویذ

استاد راهنما:

امضا: 

آقای دکتر مهربان جسمانی

استاد مشاور:

امضا: 

آقای دکتر فرج الله عسگری

استاد مدعو (داور خارجی):

آقای دکتر ابوالحسن نائینی

استاد مدعو (داور داخلی):

آقای دکتر گروسی

نماینده تحصیلات تکمیلی:



تقدیم به:

پدر و مادر عزیزم

قدردانی و تشکر:

با سپاس و تشکر خالصانه از استاد ارجمند و بزرگوار جناب آقای دکتر ضیائی موید که با راهنمایی های ارزنده و با نکته سنجی های علمی و تجربی خود در تمام مراحل پژوهش مرا یاری نموده اند.

از جناب آقای دکتر جسمانی بعنوان استاد مشاور و دکتر نائینی که در دوره کارشناسی ارشد در خدمتشان بوده ایم ، تشکر می کنم.
و با قدردانی فراوان از جناب آقای مهندس یوسف کاظم زاده از شرکت مشاور لار که در این پایانامه خالصانه مشاوره و همکاری کرده اند.

چکیده

در این پایان نامه رفتار دینامیکی سد خاکی ماملو که برای اهداف کشاورزی و تامین آب دشت ورامین در جنوب شرقی تهران در حال احداث می باشد، به خاطر شرایط خاص آن در هسته سد، مورد بررسی قرار گرفته است. سد خاکی ماملو دارای یک هسته زون بندی شده می باشد که دارای سه لایه قائم است، که از یک لایه میانی از جنس CL و دو لایه کناری از جنس GC تشکیل شده است. در این پایان نامه، تحلیل دینامیکی سد ماملو را با حالتی از سد خاکی که دارای هسته ساده می باشد، بررسی شد و مواردی از قبیل اثر الاستیسیته زونهای مختلف سد و اثر نوع شتاب نگاشت وارده بر سد مورد بررسی قرار گرفته است.

در انتهای این تحلیل نتایج زیر بدست آمده است:

در مقایسه با رفتار دینامیکی مقطع با هسته ساده و هسته زون بندی شده به نتایج زیر می توان رسید:

الف) تنش قائم کل (σ_v) در محور هسته در مقطع زون بندی شده کمتر از مقطع ساده می باشد، که این امر بعلت جایگزینی شن رس دار به جای رس خالص است که دارای سختی بیشتر است و لذا تنشهای بیشتری را جذب می کند.

ب) فشار حفره ای نرمالایز شده (u/σ_v) درون هسته در مقطع زون بندی شده بیشتر از مقطع ساده می باشد که این امر بعلت کاهش قابل توجه تنش موثر در هسته می باشد.

ج) تنش برشی درون هسته، در مقطع زون بندی شده کمتر از هسته ساده می باشد.

د) فشار آب حفره ای نرمالایز شده به مینیمم تنش کل در هسته ساده بیش از هسته زون بندی شده می باشد و در نتیجه خطر پدیده شکست هیدرولیکی در هسته زون بندی شده کمتر از هسته ساده می باشد.

ه) شتاب القایی موجود در هسته زون بندی شده بیشتر از هسته ساده می باشد که در مبحث پایداری اثر منفی دارد.

در مورد اثر تغییر مدول ارتجاعی پی در پی، دیوار آب بند و پای هسته تاثیر گذار است. و مسئله دیگر با توجه به افزایش ضریب الاستیسیته که منجر به سختی بیشتر پی می گردد، شتاب القایی در تاج سد افزایش می یابد. افزایش مدول ارتجاعی دیوار آب بند باعث افزایش تنش در دیوار آب بند و پای هسته می گردد و تاثیری در طیف پاسخ شتاب ندارد. افزایش مدول الاستیسیته زون شن رس دار باعث افزایش تنش در زون شن رس دار و کاهش تنش در لایه رسی وسط می شود و در ضمن باعث افزایش فشار آب حفره ای نرمالایز به تنش موثر و تنش قائم کل می گردد ولی با توجه به افزایش سختی، فشار آب حفره ای نرمالایز به می نیم تنش کل کاهش می یابد. با افزایش مدول شن رس دار شتاب القایی نیز افزایش می یابد. مقادیر تنش در دیوار آب بند در زلزله طبس کمتر از دو زلزله منجیل و اردبیل می باشد ولی در هسته این مسئله عکس می گردد که بنظر می رسد بخاطر صلبیت دو زون باشد. و این که تنش برشی در زلزله طبس بیش از دو زلزله دیگر می باشد که ناشی از وجود دندانهای بزرگتر در شتابنگاشت طبس نسبت به دو زلزله دیگر است و نیز بخاطر این که انرژی زلزله طبس در حدود نصف زمان دو زلزله دیگر اعمال شده است. نکته دیگر آنکه فشار آب حفره ای نرمالایز شده در زلزله طبس کمتر از دو زلزله دیگر می باشد و این بخاطر افزایش بیشتر تنش موثر و تنش قائم کل نسبت به افزایش فشار آب حفره ای می باشد. و آخرین نکته این که شتاب القایی در زلزله طبس بیش از دو زلزله دیگر می باشد که ناشی از دندانها و رها شدن انرژی در مدت زمان کمتر نسبت به دو زلزله دیگر می باشد و شتاب القایی در زلزله منجیل بخاطر انرژی بیشتر نسبت به زلزله اردبیل، بیشتر از زلزله اردبیل می باشد. و در مورد فشار آب حفره ای نرمالایز شده به مینیم تنش کل شاهد بیشتر شدن آن تحت اثر افزایش ماکزیمم شتاب رکوردها و آزاد انرژی در مدت زمان کمتر هستیم. با توجه به نفوذ پذیری بیشتر رس مخلوط باز توزیع مجدد فشار آب حفره ای در هسته زون بندی شده کمتر از هسته رسی خالص اتفاق می افتد.

فصل اول - مقدمه	۳
مقدمه	۳
۱-۲- مقدمه	۵
۲-۲- بررسی رفتار تعدادی از سدهای خاکی در برابر زلزله	۱۱
۳-۲- عوامل موثر در طراحی لرزه ای سدهای خاکی	۱۳
۴-۲- روشهای بررسی پایداری سدهای خاکی در برابر زلزله	۱۵
۱-۴-۲- آنالیز شبه استاتیکی	۱۵
۲-۴-۲- روش نیومارک	۱۹
۳-۴-۲- روش اصلاح شده سید و مکدیسی	۲۲
۲-۴-۳- روش تقریبی جهت تعیین بیشینه شتاب تاج و تغییر شکل	۲۲
۴-۴-۲- روش سارما	۲۷
۵-۴-۲- روش مینیرو	۳۵
۵-۲- تحلیل دینامیکی سدهای خاکی	۳۵
۱-۵-۲- روش معادل خطی	۳۵
۲-۵-۲- روش غیرخطی کامل	۳۸
۱-۳- معرفی نرم افزار	۴۱
۲-۳- مدلسازی	۴۲
۱-۲-۳- انتخاب مدل خاک	۴۲
۲-۲-۳- شرایط اولیه	۴۲
۳-۲-۳- آنالیز اولیه	۴۳
۴-۲-۳- پارامترهای دینامیکی	۴۴
۳-۳- تابع المان محدود	۴۵
۴-۳- ماتریس جرم	۴۶
۵-۳- ماتریس میرایی	۴۷
۶-۳- ماتریس سختی	۴۸
۷-۳- ماتریس تغییر مکان- کرنش	۴۸
۸-۳- مدلسازی سد مورد تحلیل	۴۹
۱-۴- نتایج تحلیل دینامیکی سد با هسته زون بندی شده و مقایسه با هسته ساده	۶۴
۱-۱-۴- بررسی تنش های موجود در سد	۶۴
۲-۱-۴- بررسی فشار آب حفره ای موجود در سد	۷۰
۳-۱-۴- بررسی طیف پاسخ	۷۲
۲-۴- اثر پارامترهای دینامیکی لایه های مختلف سد در نتایج تحلیل دینامیکی	۷۳

- ۷۴.....۱-۲-۴ تاثیر مدول الاستیسیته پی
- ۷۴.....۱-۱-۲-۴ بررسی تنش های موجود در سد
- ۷۷.....۲-۱-۲-۴ بررسی فشار آب حفره ای موجود در سد
- ۷۹.....۳-۱-۲-۴ بررسی طیف پاسخ
- ۸۰.....۲-۲-۴ تاثیر مدول الاستیسیته دیوار آب بند
- ۸۰.....۱-۲-۲-۴ بررسی تنش ها
- ۸۳.....۲-۲-۲-۴ بررسی فشار آب حفره ای
- ۸۵.....۳-۲-۲-۴ طیف پاسخ
- ۸۶.....۳-۲-۴ تاثیر مدول الاستیسیته رس مخلوط
- ۸۶.....۱-۳-۲-۴ بررسی تنش ها
- ۸۹.....۲-۳-۲-۴ بررسی فشار آب حفره ای
- ۹۱.....۳-۳-۲-۴ بررسی طیف پاسخ
- ۹۲.....۳-۴ اثر شتاب نگاشت وارده بر سد
- ۹۳.....۱-۳-۴ بررسی تنش ها
- ۹۶.....۲-۳-۴ بررسی فشار آب حفره ای
- ۹۹.....۳-۳-۴ بررسی طیف پاسخ
- ۱۰۰.....۴-۴ نتیجه گیری
- ۱۰۳.....۵-۴ پیشنهادات

- شکل ۱-۲ روش محاسبه پایداری شیروانیها در برابر زلزله..... ۱۶
- شکل ۲-۲ آنالیز پایداری سد سن فرناندوی پایینی باروش شبه استاتیکی ۱۷
- شکل ۲-۳ آنالیز پایداری سد سن فرناندوی بالایی باروش شبه استاتیکی..... ۱۷
- شکل ۲-۴ آنالیز پایداری لرزه ای سد شفیلد با استفاده از روش شبه استاتیکی..... ۱۸
- شکل ۲-۵ نمایش بلوک صلب لغزنده نیومارک..... ۲۰
- شکل ۲-۶ انتگرالگیری از تاریخچه زمانی شتاب برای تعیین سرعتها و جابجایی ها..... ۲۱
- شکل ۲-۷ مقطع یک سد جهت تعیین بیشینه شتاب تاج..... ۲۳
- شکل ۲-۸ نمودار تغییرات و میرائی با کرنش برشی..... ۲۴
- شکل ۲-۹ نمودار جهت تعیین مقدار..... ۲۶
- شکل ۲-۱۰ نمودار جهت تعیین مقدار تغییر مکان..... ۲۷
- شکل ۲-۱۱ هندسه مقطع سد در روش سارما..... ۲۸
- شکل ۲-۱۲ نمودار تعیین مقدار..... ۳۰
- شکل ۲-۱۳ شکل سطح لغزش در روش سارما..... ۳۱
- شکل ۲-۱۴ نمودار تغییرات ضریب پاسخ لرزه ای..... ۳۲
- شکل ۲-۱۵ نمودار تعیین تغییر مکان به روش پیشنهادی سارما..... ۳۴
- شکل ۲-۱۶ مدول برشی سکانت G_{sec} و مماسی G_{tan} ۳۶
- شکل ۲-۱۷ مدول برشی و ضریب میرایی وابسته به کرنش..... ۳۷
- شکل ۲-۱۸ رابطه نیرو- تغییر مکان سیستم الاستو- پلاستیک ۳۹
- شکل ۳-۱ مقطع سد ماملو ۲..... ۴۲
- شکل ۳-۲ المان بندی سد ماملو با نرم افزار QUAKE/W..... ۵۶
- شکل ۳-۳ مقطع سد با هسته زون بندی شده..... ۵۶
- شکل ۳-۴ مقطع سد با هسته ساده از جنس رس خالص..... ۵۶
- شکل ۳-۵ کاهش مدول برشی مصالح پی، پوسته و هسته رسی..... ۵۸
- شکل ۳-۶ نسبت میرایی مصالح پی، پوسته و هسته رسی..... ۵۹
- شکل ۳-۷ پارامتر کاهش مدول برشی مصالح GC..... ۵۹
- شکل ۳-۸ پارامتر نسبت میرایی مصالح GC..... ۶۰
- شکل ۳-۹ کانتور تنش ماکزیمم کل در هسته زون بندی شده..... ۶۰
- شکل ۳-۱۰ کانتور تنش ماکزیمم کل در هسته ساده..... ۶۱
- شکل ۴-۱ شتاب نگاشت زلزله منجیل..... ۶۳
- شکل ۴-۲ نمودار مقایسه ای تنش قائم کل در دو مدل هسته ساده و زون بندی شده..... ۶۵
- شکل ۴-۳ نمودار مقایسه ای مینیمم تنش کل در دو مدل هسته ساده و زون بندی شده..... ۶۵
- شکل ۴-۶ نمودار مقایسه ای تنش موثر در دو مدل هسته ساده رسی و زون بندی شده..... ۶۸

- شکل ۴-۷ نمودار مقایسه ای تنش برشی در دو مدل هسته ساده رسی و زون بندی شده..... ۶۸
- شکل ۴-۸ کانتور تنش موثر الف (هسته ساده ب هسته مرکب..... ۶۹
- شکل ۴-۹ کانتور تنش برشی الف (هسته ساده ب) هسته مرکب..... ۷۰
- شکل ۴-۱۰ نمودار تغییرات فشار آب حفره ای نرمالایز شده به تنش موثر در دو مدل هسته..... ۷۱
- شکل ۴-۱۱ نمودار تغییرات فشار آب حفره ای نرمالایز شده به تنش قائم کل در دو مدل هسته..... ۷۱
- شکل ۴-۱۲ نمودار تغییرات فشار آب حفره ای نرمالایز شده به مینیمم تنش کل در دو مدل هسته..... ۷۲
- شکل ۴-۱۳ نمودار طیف پاسخ شتاب در تاج سد در دو مدل از هسته..... ۷۳
- شکل ۴-۱۴ نمودار مقایسه ای تنش قائم کل با تغییر مدول ارتجاعی پی..... ۷۵
- شکل ۴-۱۵ نمودار مقایسه ای تنش مینیمم کل با تغییر مدول ارتجاعی پی..... ۷۵
- شکل ۴-۱۶ نمودار مقایسه ای تنش موثر در سد با تغییر الاستیسیتته پی..... ۷۶
- شکل ۴-۱۷ نمودار مقایسه ای تنش برشی در سد با تغییر الاستیسیتته پی..... ۷۷
- شکل ۴-۱۸ تغییرات فشار آب حفره ای نرمالایز شده نسبت به تنش موثر در اثر تغییر مدول ارتجاعی پی..... ۷۸
- شکل ۴-۱۹ تغییرات فشار آب حفره ای نرمالایز شده نسبت به تنش قائم کل در اثر تغییر مدول ارتجاعی پی..... ۷۸
- شکل ۴-۲۰ تغییرات فشار آب حفره ای نرمالایز شده نسبت به تنش می نیمم کل در اثر تغییر مدول ارتجاعی پی..... ۷۹
- شکل ۴-۲۱ طیف پاسخ شتاب در تاج سد در اثر تغییر الاستیسیتته پی..... ۸۰
- شکل ۴-۲۲ نمودار مقایسه ای تنش کل قائم در سد در اثر تغییر مدول ارتجاعی دیوار آب بند..... ۸۱
- شکل ۴-۲۳ نمودار مقایسه ای مینیمم تنش کل در اثر تغییر مدول ارتجاعی در دیوار آب بند..... ۸۱
- شکل ۴-۲۴ نمودار تنش موثر موجود در اثر تغییر مدول الاستیسیتته دیوار آب بند..... ۸۲
- شکل ۴-۲۵ نمودار تنش برشی موجود در اثر تغییر مدول الاستیسیتته دیوار آب بند..... ۸۳
- شکل ۴-۲۶ نمودار تغییرات فشار آب حفره ای نرمالایز به تنش موثر با تغییر در الاستیسیتته دیوار آب بند..... ۸۴
- شکل ۴-۲۷ نمودار تغییرات فشار آب حفره ای نرمالایز شده به تنش قائم کل با تغییر در الاستیسیتته دیوار آب بند..... ۸۴
- شکل ۴-۲۸ نمودار تغییرات فشار آب حفره ای نرمالایز شده به مینیمم تنش کل با تغییر در الاستیسیتته دیوار آب بند..... ۸۵
- شکل ۴-۲۹ نمودار طیف پاسخ شتاب در تاج سد با تغییر مدول الاستیسیتته دیوار آب بند..... ۸۶
- شکل ۴-۳۰ نمودار تنش قائم کل در اثر تغییر الاستیسیتته زون شن رس دار..... ۸۷
- شکل ۴-۳۱ نمودار مینیمم تنش کل در اثر تغییر الاستیسیتته شن رس دار..... ۸۷
- شکل ۴-۳۲ نمودار تنش موثر در سد با تغییر الاستیسیتته شن رس دار..... ۸۸
- شکل ۴-۳۳ نمودار تنش برشی در سد با تغییر الاستیسیتته شن رس دار..... ۸۹
- شکل ۴-۳۴ نمودار تغییرات فشار آب حفره ای نرمالایز شده به تنش موثر در اثر تغییرات الاستیسیتته رس مخلوط..... ۹۰
- شکل ۴-۳۵ نمودار تغییرات فشار آب حفره ای نرمالایز شده به تنش قائم کل در اثر تغییر الاستیسیتته رس مخلوط..... ۹۰
- شکل ۴-۳۶ نمودار تغییرات فشار آب حفره ای نرمالایز شده به مینیمم تنش کل در اثر تغییر الاستیسیتته رس مخلوط..... ۹۱
- شکل ۴-۳۷ نمودار طیف پاسخ شتاب در تاج سد در اثر تغییر الاستیسیتته رس مخلوط..... ۹۲
- شکل ۴-۳۸ شتاب نگاشت طبس..... ۹۳
- شکل ۴-۳۹ شتاب نگاشت اردبیل..... ۹۳
- شکل ۴-۴۰ نمودار تنش قائم کل در زلزله های مختلف..... ۹۴

- شکل ۴-۱ نمودار مینیمم تنش کل در سه زلزله..... ۹۵
- شکل ۴-۲ نمودار تنش موثر در سه زلزله..... ۹۶
- شکل ۴-۳ تنش برشی در سه زلزله..... ۹۶
- شکل ۴-۴ نمودار مقایسه ای فشار آب حفره ای نرمالایز شده به تنش موثر..... ۹۷
- شکل ۴-۵ نمودار مقایسه ای فشار آب حفره ای نرمالایز شده به تنش قائم کل..... ۹۸
- شکل ۴-۶ نمودار مقایسه ای فشار آب حفره ای نرمالایز شده به مینیمم تنش کل..... ۹۸
- شکل ۴-۷ نمودار طیف پاسخ شتاب در سه زلزله..... ۹۹

جدول ۱-۳ مشخصات مصالح بکار رفته در مدل..... ۵۷

فصل اول

مقدمه

مقدمه

با توجه به محدودیت منابع آب بخاطر شرایط جغرافیایی و اقلیمی، توسعه صنعت سدسازی برای جمع آوری آبهای سطحی و استفاده بهینه از آن برای مقاصد مورد نیاز را نمی‌توان نادیده گرفت. همچنین با توجه به استعداد لرزه خیزی بالا در اکثر مناطق کشور که تقریباً می‌توان گفت هیچ نقطه‌ای از عدم رخداد زلزله شدید آسوده خاطر نیست، ضرورت مطالعه رفتار دینامیکی سدهای خاکی تحت بارگذاری زلزله مهم به نظر می‌آید. اینکه سازه سد خاکی در اثر جنبش زلزله چه نوع عکس‌العملی را نشان می‌دهد، پاسخ روشنی وجود ندارد، زیرا برحسب شرایط مختلف باید رفتارهای متفاوتی را تصور نمود. علت این پیچیدگی و عدم قطعیت در پاسخ سد، اینست که مجموعه معلومات و روابط بین آنها در تحلیل یک مساله با توجه به مجموعه شرایط سد، منطقه و زلزله بسیار متنوع و متفاوتست، تنوع خواص دینامیکی بدنه سدهای خاکی (میرایی و مدول برشی) و تفاوت‌های اصولی ویژگیهای زلزله از قبیل محتوای فرکانسی، مدت زلزله و دامنه حداکثر و نیز شرایط منطقه از جمله شرایط گسل، وضعیت دره و اثر ساختگاه و دیگر عوامل، از جمله پارامترهایی هستند که در واکنش دینامیکی سد نقش مهمی دارند. بنابراین آگاهی از واکنش دینامیکی سدهای خاکی به هنگام رخداد هر یک از زلزله‌ها ضروری است تا اجرای سد بر اساس رفتار و تغییر شکل آن در حین و بعد از زلزله لحاظ گردد.

در این پایان نامه رفتار دینامیکی سد خاکی ماملو که برای اهداف کشاورزی و تامین آب دشت ورامین در جنوب شرقی تهران در حال احداث می‌باشد، به خاطر شرایط خاص آن در هسته سد، مورد بررسی قرار گرفته است. سد خاکی ماملو دارای یک هسته زون بندی شده می‌باشد که دارای سه لایه قائم است، که از یک لایه میانی از جنس CI و دو لایه کناری از جنس GC تشکیل شده است. در این پایان نامه، تحلیل دینامیکی سد ماملو را با حالتی از سد خاکی که دارای هسته ساده می‌باشد، بررسی شد و مواردی از قبیل اثر الاستیسیته زونهای

مختلف سد، پارامترهای دینامیکی مصالح مخلوط و اثر نوع شتاب نگاشت وارده بر سد مورد بررسی قرار گرفته است.

این پایان نامه شامل بخشهای زیر می باشد:

در فصل اول در مورد ضرورت انجام آنالیز دینامیکی بر روی سدهای خاکی و معرفی سد ماملو و شرایط خاص سد بحث شده است. در فصل دوم معرفی زلزله های مهم و تاریخچه روشهای آنالیز دینامیکی بکاررفته در سدهای خاکی و در فصل سوم به معرفی نرم افزار مورد استفاده در آنالیز دینامیکی سدهای خاکی در این پروژه، بررسی نقاط قوت و ضعف آن و نیز مدلسازی سد بحث شده است. فصل چهارم به نتیجه گیری تحلیل پرداخته می شود و در انتها پیشنهادات لازم در مورد ادامه کار ارائه شده است.

فصل دوم

تاریخچه آنالیز دینامیکی

سدهای خاکی

۲-۱- مقدمه

قبل از دهه ۱۹۶۰ روشهای استاندارد آنالیز لرزه ای بر مبنای آنالیز جسم کاملاً صلبی که بر روی پی قرار گرفته است، استوار بود، که موجب بدست آمدن شتاب یکسان با شتاب زمین در تمامی نقاط سد می گردید.

سالهای دهه ۱۹۶۰ شامل یک دوره جدید در رویکرد و توجه و همچنین درک جدیدی از رفتار لرزه ای سدهای خاکی و سنگریزه ای بوده است. فرمولها و روشهای متعدد تحلیلی و یا عددی برای پیش بینی پاسخ لرزه ای سدها شکل گرفت و روشهای متعددی بر مبنای مطالعات آزمایشگاهی برای اطمینان از پایداری سدها در مقابل لرزه های شدید مورد انتظار در محل، گسترش یافت. در آن زمان لرزه های ثبت شده در محل و نتایج آزمایشات لرزه ای در مقیاس واقعی مورد توجه قرار گرفت.

هم اکنون روشن است که سدهای خاکی بیشتر شبیه یک جسم انعطاف پذیر عمل می کنند تا یک جسم صلب. پاسخ آنها به لرزه هایی که به پی می رسد، تابع خصوصیات مصالح تشکیل دهنده، شکل هندسی و نیز ویژگیهای پی می باشد. این مورد در آزمایشات با مقیاس واقعی و مشاهدات پاسخ سدها در حین زلزله به اثبات رسیده است، که بصورت تئوری نیز پیش از آن نتیجه گیری شده بود.

روشهای آنالیز که بر مبنای روش شبه استاتیکی قرار دارند، تا ۳۰ سال پیش، یکی از مطرح ترین روشها در آنالیز سدهای خاکی بودند. کاربرد این روش بخصوص پس از زلزله سن فرناندو^۱ و نیز شکست سد شفیلد^۲ و اظهار نظر متخصصان از جمله پروفیسور سید^۳ که این روش را در برخی موارد ناکارآمد دانستند، محدود شد و آنالیز دینامیکی که با ارائه مدل نیومارک^۴ شکل گرفته بود، مورد توجه قرار گرفت.

^۱ - San fernando

^۲ - Sheffield dam

^۳ - H. Bolton Seed

^۴ - Newmark

نتیجه گیریهای مهمی از آنالیز شبه استاتیکی توسط سید بیان و بحث شد؛ اول آنکه نیروهای اینرسی بصورت دائم و در یک جهت عمل نمی کنند، بلکه دارای تناوب سریع هم در مقدار و هم در جهت خود هستند. بنابراین اگر ضریب اطمینان برای لحظه ای کمتر از واحد گردد، ضرورتاً منجر به گسیختگی در بدنه سد نمی شود، بلکه ممکن است منجر به ایجاد برخی تغییر شکلهای دائمی (لغزش) در بدنه سد شود. این نظر توسط ترزاقی^۵ نیز تایید شده و به وسیله نیومارک بیان گردید. این عقیده که کنترل تغییر شکل ایجاد شده در بدنه بهتر از بیان محدود کننده ضریب اطمینان می باشد، مبنایی برای آنالیز استاندارد پایداری لرزه ای سدها قرار گرفت. مشکل دیگر روش شبه استاتیکی این بود که در این روش حالت متداول نا پایداری خاکریزها را در مدل واقعی گسیختگی در نظر می گرفت. در واقع پس از سالها، حالت‌های دیگر صدمات وارد به سدها در اثر زلزله در سرتاسر جهان مشاهده گردید. این حالتها شامل موارد زیر است [۱]:

الف) گسیختگی جریانی روانگرایی^۶ که با توسعه فشار آب اضافی در ناحیه اشباع شده سد به وقوع می

پیوندد.

ب) ترکهای طولی (در امتداد محور سد) که در نزدیکی تاج سد به دلیل تغییر شکلهای برشی و کرنشهای بزرگ کششی در هنگام لغزشهای جانبی رخ می دهد.

ج) مقادیر متفاوت نشست تاج و کاهش مقدار ارتفاع آزاد که احتمالاً در اثر تغییر شکلهای جانبی یا متراکم شدن خاک صورت می پذیرد.

د) ترکهای عرضی (عمود بر محور سد) که ناشی از کرنش کششی در لرزش طولی با پاسخ های عرضی متفاوت نواحی نزدیک تکیه گاه و نواحی مرکزی ایجاد می شود.

ه) گسیختگی ناشی از پدیده رگاب^۷ از میان ترکهای ایجاد شده در خاکهای چسبنده.

^۵ - Terzaghi

^۶ - Flow Failure

^۷ - Piping

اولین گام در توسعه مدل دینامیکی توسط مونو نوبه^۸ در سال ۱۹۳۶ برداشته شد و شاید او اولین کسی بود که سدهای خاکی را با بدنه ای انعطاف پذیر در نظر گرفت و روشی را معرفی کرد که امروزه به نام «باریکه های برشی» معروف است. کمتر از ۲۰ سال بعد این مدل بطور کامل مورد بررسی قرار گرفت و پس از کارهای هاتاناکا^۹ و امبرسی^{۱۰} به صورت یک تئوری مهندسی کامل مطرح گردید. هاتاناکا نتیجه گیری کرد که تغییر شکلهای خمشی و پیچشی در مقابل تغییر شکلهای برشی قابل صرفنظر هستند و بنابراین یک روش طراحی با استفاده از ضریب لرزه که از آنالیز مد اصلی یک باریکه برشی در یک دره مستطیلی و بر روی یک لایه خاک الاستیک همگن قرار گرفته، بدست می آید.

مدل تکامل یافته باریکه های برشی در دهه های ۱۹۶۰ تا ۱۹۷۰ برای تفسیر مشاهدات آزمایشات با مقیاس واقعی مورد استفاده قرار گرفت و با کمک این روش، ضرایب لرزه برای استفاده در طراحی بدست می آید.

پیشرفت مهمی که در دهه ۱۹۶۰ انجام شد، اولین آزمون موفقیت آمیز استفاده از مدل باریکه های برشی و مقایسه آن با اندازه گیریهای انجام شده در مقیاس واقعی در سد بوکیت^{۱۱} بود. مقادیر پیش بینی شده برای پنج فرکانس طبیعی اول، تنها در حدود ۱۰ تا ۲۰ درصد از مقادیر اندازه گیری شده واقعی بود. اما الگوی پیش بینی شده برای دامنه لغزش در هر یک از این فرکانسها به سختی با الگوی مشاهده شده انطباق می یافت، چراکه در مشاهدات، دامنه لغزش به سرعت به نسبت عمق از روی تاج سد کاهش می یافت [۱].

در مورد آنالیز دینامیکی تحقیقات زیادی شده که در ذیل می آید:

Skemmer با استفاده از المانهای دوزنقه ای تحلیلی دینامیکی بر روی یک سد سنگریزه ای با پارامترهای غیرخطی انجام داده است. او در مورد پارامترهای غیرخطی خاک و تنش اصلی متوسط در مسائل کرنش صفحه ای بررسی کرده است. آنالیز سد ال سترو با استفاده از المانهای دوزنقه ای در هسته و فیلتر، متغیرهای مدول

⁸ - Mononobe

⁹ - Hatanaka

¹⁰ - Amberaseys

¹¹ - Boquet