بسم الله الرحمن الرحیم
نور السموات والارض

کلیه حقوق مادی مترتب بر نتایج مطالعات، ابتکارات و

نوآوری های ناشی از تحقیق موضوع این پایان نامه

متعلق به دانشگاه رازی است.

دانشکده فنی و مهندسی
گروه عمران

پایان نامه جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد رشته ی مهندسی عمران گرایش خاک و پی

عنوان

تحلیل دینامیکی سد خاکی (مطالعه موردی سد مخزنی قشلاق صحنه)

استاد راهنما:

دکتر حسن شرفی

نگارش:

علیرضا مینائی

اسفندماه ۱۳۹۳

دانشکده فنی و مهندسی
گروه عمران

پایان نامه جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد رشته ی مهندسی عمران
گرایش خاک و پی

نگارش:

علیرضا مینائی

تحت عنوان:

تحلیل دینامیکی سد خاکی (مطالعه موردی سد مخزنی قشلاق صحنه)

در تاریخ **۹۳/۱۲/۲۵** توسط هیأت داوران زیر بررسی و با درجه **خیلی خوب** به تصویب نهایی رسید.

۱- استاد راهنما: دکترحسن شرفی با مرتبه‌ی علمی استادیار امضاء

۳- استاد داور داخل گروه: دکترمحمد شریفی پور با مرتبه‌ی علمی استادیار امضاء

۴- استاد داور خارج از گروه: دکتر مهنوش بیگلری با مرتبه‌ی علمی استادیار امضاء

چکیده

در این تحقیق، تحلیل دینامیکی سدهای خاکی به کمک روش عددی مورد بررسی قرار گرفته است تحلیل های دینامیکی صورت گرفته از نوع تحلیل های تاریخچه ی زمانی بوده و با اعمال شتاب نگاشت چند زلزله ی واقعی که به مقیاس آورده شده انجام شده است. روش تحلیل عددی انتخاب شده روش عددی تفاضل محدود (FDM) بوده است. تحلیل های دینامیکی عددی دو بُعدی کرنش مسطح در حوزه ی زمان، مبنا و چهارچوب اصلی پایان نامه ی حاضر را تشکیل می دهد. تمرکز این تحقیق به بزرگنمایی مقادیر شتاب ها و تغییر مکان های جانبی (افقی) و قائم (نشست ها) در اثر بارگذاری زلزله می باشد. کلیه ی مدل ها قبل از تحلیل دینامیکی ابتدا تحلیل استاتیکی شده و پس از حصول تعادل استاتیکی اولیه، تحت بارگذاری دینامیکی قرار گرفته اند.

نتایج تحلیل نشان می دهد که لزوما در تاج سد بزرگنمایی روی نمی دهد، بلکه علاوه بر بزرگنمایی محتوای فرکانسی شتاب اعمال شده بر روی مقادیر بزرگنمایی موثر است.

مطالعه ی موردی صورت گرفته در این تحقیق در خصوص سد قشلاق در استان کرمانشاه می باشد.

کلمات کلیدی: سد خاکی، شتابنگاشت، اجزاء محدود، تفاضل محدود، تحلیل دینامیکی.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول: بیان مسأله و موضوع تحقیق

۱-۱- مقدمه ۲
۱-۲- خرابی های مشاهده شده در سدها بر اثر زلزله ۲
۱-۳- بیان مساله ۳
۱-۴- هدف از تحقیق ۴
۱-۵- ساختار پایان نامه ۴

فصل دوم: مرور ادبیات فنی و پیشینه کارهای گذشتگان

۲-۱- مقدمه ۶
۲-۱-۱- روش های مختلف تحلیل دینامیکی سدهای خاکی ۶
۲-۱-۱-۱- مطمئن ترین روش تجربی برای برآورد انطباق فرکانس طبیعی بدنه ی سد و زلزله ۶
۲-۲- حالات شکست دینامیکی در سازه ی سدهای خاکی ۷
۲-۳- ویژگی های دینامیکی مصالح سازنده ی بدنه ی سدهای خاکی ۸
۲-۴- استهلاک (میرایی) در امواج زلزله ۹
۲-۵- روش های محاسبه ی نیروهای دینامیکی وارد بر سازه ی سدهای خاکی ۹
۲-۵-۱- روش شبه استاتیکی ۹
۲-۵-۲- تعیین ضریب زلزله (تعیین ضریب k) ۱۰
۲-۵-۳- روش مونونوبه ۱۱
۲-۵-۴- روش امبرسیز ۱۴
۲-۶- روش های ترکیب اثر مُدهای نوسان درسازه ی سد خاکی ۱۶
۲-۷- مفهوم ضریب زلزله ی متوسط ۱۷
۲-۸- محاسبه ی ضریب زلزله ی متوسط (ضریب k) با روش گوه ای ۱۹
۲-۹- ایرادات روش های کلاسیک تحلیل دینامیکی (که تا بحال مورد بررسی قرارگرفته اند) ۲۱
۲-۱۰- روش های عمده ی تحلیل دینامیکی سدهای خاکی ۲۱
۲-۱۱- روش مجزاسازی (Discretization method) ۲۲
۲-۱۲- معادله ی حرکت سد خاکی درتحلیل دینامیکی زلزله ۲۴
۲-۱۳- بررسی معادله ی ارتعاش آزاد (فاقد تحریک خارجی) یک دستگاه چند درجه (nدرجه) آزادی بدون میرایی (برای یافتن فرکانس های طبیعی سد خاکی): ۲۴
۲-۱۴- توضیحاتی در خصوص آنالیز مودال: ۲۵
۲-۱۵- تعیین تعداد کافی مُدهای نوسان سیستم سد خاکی ۲۵
۲-۱۶- سایرمبانی و روش های تحلیل دینامیکی سدهای خاکی ۲۶
۲-۱۷- معرفی میرایی رایلی برای مصالح بدنه و پی سد خاکی ۲۶
۲-۱۸- خلاصه ای از مقالات منتخب در خصوص موضوع پایان نامه ۲۷

۲-۱۸-۱- مقاله ی اوّل ۲۸
۲-۱۸-۲-مقاله ی دوم ۳۵
۲-۱۸-۳-مقاله ی سوم ۳۹
۲-۱۸-۴-مقاله ی چهارم ۴۳
۲-۱۸-۵- مقاله ی پنجم ۵۱
۲-۱۸-۶- مقاله ی ششم ۶۲
۲-۱۸-۷- مقاله ی هفتم ۶۶
۲-۱۸-۸- مقاله ی هشتم ۷۳

فصل سوم: معرفی نرم افزار و صحت سنجی

۳-۱- معرفی نرم افزار ۸۰
۳-۱-۱- شبکه تفاضل محدود ۸۱
۳-۱-۲- برای ایجاد یک شبیه سازی واقع گرایانه در FLAC باید سه اصل اساسی در فرایند مدلسازی انجام گیرد: ۸۱
۳-۱-۳- تحلیل دینامیکی ۸۱
۳-۱-۳-۱- در مدلسازی FLAC بارگذاری دینامیکی را می توان به دو طریق انجام داد ۸۲
۳-۱-۳-۲- انتخاب شرایط مرزی ۸۳
۳-۱-۳-۳- میرایی مکانیکی ۸۵
۳-۱-۳-۴- شرایط انتقال موج ۸۶
۳-۲- صحت سنجی سد لیتوان با استفاده از نرم افزار فلک ۸۶
۳-۲-۱- مقدمه ۸۶
۳-۲-۲- مراحل تحلیل دینامیکی سد خاکی لیتوان ۸۸
۳-۲-۳- مقایسه نتایج بدست آمده از مدل سازی حاضر با نتایج مقاله ۹۰
۳-۲-۳-۱- مقایسه توزیع فشار آب حفره ای: ۹۰
۳-۲-۳-۲- مقایسه شتاب بدست آمده از تحقیق حاضر با مقاله موجود ۹۱
۳-۳- مدلسازی سد خاکی قشلاق ۹۵
۳-۳-۱- مقدمه ۹۵
۳-۳-۲- روش عددی انتخاب شده برای مدلسازی ۹۷
۳-۳-۳- معیارهای انتخاب شتاب نگاشت ها ۹۸
۳-۳-۳-۱- بزرگای هدف ۹۸
۳-۳-۳-۲- بازه فاصله ۹۸
۳-۳-۳-۳- سازوکار زمین لرزه ها ۹۸
۳-۳-۳-۴- شرایط ساختگاه سد قشلاق ۹۸
۳-۳-۴- رکوردهای زلزله ی استفاده شده برای تحلیل دینامیکی سازه ی سد ۹۹
۳-۳-۵- شرایط مرزی دینامیکی در تحلیل تفاضل محدود دو بعدی ۱۰۲
۳-۳- ۶- شرایط مرزی استاتیکی و دینامیکی مسئله ۱۰۲

۳-۴- اصلاح شرایط مرزی متناسب با تحلیل دینامیکی منتخب و انتخاب میرایی.....۱۰۲

فصل چهارم: نتایج حاصل از مدلسازی های نرم افزاری

۴- ۱- نتایج حاصل از مدلسازی های نرم افزاری FDM ۱۰۶
۴-۱-۱- نتایج حاصل از تحلیل دینامیکی سد قشلاق تحت زلزله کوبه ۱۰۶
۴-۱-۲- نتایج حاصل از تحلیل دینامیکی سد قشلاق تحت زلزله فرولی ۱۱۴
۴-۱-۳- نتایج حاصل از تحلیل دینامیکی سد قشلاق تحت زلزله چی چی ۱۲۰
۴-۲- مقایسه نتایج.....۱۲۵
۴-۲-۱- مقایسه بزرگنمایی شتاب در تاج سد تحت زلزله کوبه ۱۲۵
۴-۲-۲ مقایسه جابه جایی افقی در تاج سد تحت زلزله کوبه.....۱۲۶
۴-۲-۳- مقایسه جابه جایی قائم در سد تحت زلزله کوبه.....۱۲۶
۴-۲-۴- مقایسه بزرگنمایی شتاب در تاج سد تحت زلزله فرولی ۱۲۷
۴-۲-۵- مقایسه جابه جایی افقی در تاج سد تحت زلزله فرولی ۱۲۷
۴-۲-۶- مقایسه جابه جایی قائم (نشست) در تاج سد تحت زلزله فرولی.....۱۲۸
۴-۲-۷- مقایسه بزرگنمایی شتاب در تاج سد تحت زلزله چی چی ۱۲۸
۴-۲-۸- مقایسه جابه جایی افقی در تاج سد تحت زلزله چی چی ۱۲۹
۴-۲-۹- مقایسه جابه جایی قائم در تاج سد تحت زلزله چی چی ۱۲۹

فصل پنجم: نتیجه گیری پایانی، پیشنهادات برای مطالعات آتی

۵- ۱- نتیجه گیری های پایانی تحقیق حاضر.....۱۳۱
۵-۲- پیشنهاداتی برای مطالعات آتی.....۱۳۵

منابع ۱۳۶

فهرست اشکال

عنوان **صفحه**

شکل ۲-۱- علل عمده ی شکست سدهای خاکی. ۷
شکل ۲-۲- محاسبه ی پایداری سد خاکی به روش شبه استاتیکی با لایه های (نوارهای) قائم ۱۱
شکل۲-۳- روش مونونوبه درتحلیل پایداری دینامیکی شیروانی های خاکی متقارن. ۱۳
شکل۲-۴- مقایسه های امبرسیز در تعیین ضریب زلزله ی..... ۱۸
شکل ۲-۵- نیروی زلزله وارد بریک حجم لغزنده در بدنه ی سد خاکی. ۱۸
شکل ۲-۶- مقایسه های امبرسیز و سارما (شارما) ۱۹
شکل ۲-۷- روند ساده ی محاسبه ی ضریب زلزله ی ۲۰
شکل ۲-۸- مدل لایه ای سد خاکی (مدل باریکه های برشی). ۲۲
شکل ۲-۹- مدل ریاضی برشی لایه های افقی موازی خاک (مدل عمومی جرم، فنر و میراگر) ۲۳
شکل ۲-۱۰- سد مارانا کاپکسیوتی: نمای پلانی و مقطع – عرضی سد خاکی. ۲۹
شکل ۲-۱۱- سختی برشی کرنش- کوچک از آزمایش های ستون تشدید (RC) و المان خم شونده .(BE) .. ۲۹
شکل ۲-۱۲- مدول برشی بدون بعد (بالا) و نسبت میرایی (پایین) در مقابل کرنش برشی حاصل از آزمایش های ستون تشدید ۳۰
شکل ۲-۱۳- نتیجه ی تحلیل پاسخ دو بعدی سد: خطوط کانتور شتاب بدون بعد (a_{max}/g) حاصل از شتاب نگاشت های مصنوعی انتخاب شده. ۳۰
شکل ۲-۱۴- تحلیل پاسخ دو بعدی سد: خطوط کانتوری amax/g حاصل از اعمال شتاب نگاشت های واقعی شماره ی یک (R1) و (R3) ۳۱
شکل ۲-۱۵- تحلیل پاسخ دو بعدی سد: خطوط کانتوری amax/g و کرنش برشی میانگین در طول خط مرکزی سد..... ۳۱
شکل ۲-۱۶- تغییر مکان های محاسبه شده برای نتایج پاسخ تحلیل های یک بعدی. ۳۲
شکل ۲-۱۷- مقایسه ی مابین پاسخ های دو بعدی و یک بعدی در پروفیل amax/g برای شتاب نگاشت های مصنوعی A1 تا A5 و واقعی R1 تا .R5..... ۳۲
شکل ۲-۱۸- تحلیل های دو بعدی: مختصات شتاب نگاشت ها و تغییر مکان های شیب بالادست سد خاکی.. ۳۳
شکل ۲-۱۹- نمونه ی رکوردهای زلزله ی واقعی اعمال شده به بستر سد خاکی: (راست) دامنه ی فوریه ی رکوردها بر حسب دوره ی زمانی؛ (چپ) تاریخچه ی زمانی رکوردهای شتاب که به میزان ۰/۳۵ شتاب گرانش مقیاس شده اند. ۳۳
شکل ۲-۲۰- نمایی از مفروضات در نظر گرفته شده در تحلیل یک بعدی خاک بستر سد در نرم افزار SHAKE 91. ..... ۳۴
شکل ۲-۲۱- مقایسه ی نتایج نهایی با تاریخچه ی مطالعات قبلی: (راست) رکوردهای زلزله ی واقعی؛ (چپ) رکوردهای مصنوعی. ۳۴
شکل ۲-۲۲- مقطعی عرضی از سد سایاما- ایک به همراه نمایش بخش های بازسازی شده از بدنه ی سد..... ۳۶
شکل ۲-۲۳- رابطه ی مابین فاصله ی اپی سنتری میانگین و نرخ (آهنگ) آسیب سد های خاکی تخریب شده توسط زلزله ی Nihon-kai Chubu ۳۶

شکل ۲-۲۴- رابطه ی مابین فاصله ی اپی سنتری میانگین و نرخ (آهنگ) آسیب سد های خاکی تخریب شده توسط زلزله ی Hyogo-ken Nanbu ۳۶
شکل ۲-۲۵- رابطه‌ی بین بزرگی زلزله ی MJ و فاصله ی بحرانی از اپی سنتر .R ۳۷
شکل ۲-۲۶- رابطه‌ی بین بزرگی زلزله‌ی MJ و فاصله ی بحرانی از اپی سنتر R ++در سایت‌های آسیب دیده. ۳۷
شکل ۲-۲۷- حداکثر فاصله ی اپی سنتری از سایتی روانگرا شده برای یک بزرگی لرزه ای. ۳۷
شکل ۲-۲۸- حداکثر فاصله ی اپی سنتری ازسایتی روانگراشده و آسیب دیده برای یک بزرگی لرزه ای. ۳۸
شکل ۲-۲۹- مقطع های عرضی سد یاماناکا بعد از زلزله ی Miyagi-Ken Oki و آثار عمده ی خرابی و بازسازی. ۳۸
شکل ۲-۳۰- سد کاماسترا: مدول برشی بدون بُعد شده (نرمال شده) در مقابل کرنش برشی برای (شکل بالایی) هسته ی سد؛ (پایین) پوسته ها. ۳۹
شکل ۲-۳۱- سد کاماسترا: (بالا) تاریخچه های زمانی شتاب (پایین) تغییر مکان ها به علت زلزله ی Molise (۳۱ اکتبر سال ۲۰۰۲ میلادی)، پنجره ی زمانی مابین ۲۰ و ۲۵ ثانیه. ۴۰
شکل ۲-۳۲- سد کاماسترا: (بالا) تاریخچه های زمانی شتاب (پایین) تغییر مکان ها به علت زلزله ی Appennino Lucano (هفتم سپتامبر سال ۲۰۰۶ میلادی)، پنجره ی زمانی مابین ۵۵ و ۶۰ ثانیه. ۴۰
شکل ۲-۳۲- مشخصات موج های لرزه ای ورودی استفاده شده در مقاله. ۴۱
شکل ۲-۳۳- سطوح در نظرگرفته شده برای محاسبه ی ضریب لرزه ای معادل برای سدهای خاکی: (سمت چپ) سد کاماسترا و (سمت راست) سد ال انفایرنیلو. ۴۱
شکل ۲-۳۴- سد کاماسترا و سیگنال ورودی زلزله ی فریولی: (شکل بالایی) شتاب های موضعی محاسبه شده در سه نقطه از سد؛ (شکل پایینی) ضریب لرزه ای معادل افقی محاسبه شده برای سطح لغزش .S1 ..... ۴۲
شکل ۲-۳۵- سد کاماسترا با سیگنال ورودی زلزله ی فریولی: (شکل بالایی) شتاب های موضعی محاسبه شده در سه نقطه از سد؛ (شکل پایینی) ضریب لرزه ای معادل افقی محاسبه شده برای سطح لغزش S2 . ..... ۴۲
شکل۲-۳۶- نمایی پلانی و مقطع عرضی سد خاکی مارانا کاپاسیوتی به همراه جدول اطلاعات کلی سد. ۴۴
شکل ۲-۳۷- شتاب نگاشت های (بالا) مصنوعی – ساختگی و (پایین) شتاب نگاشت تولمزو، اعمال شده به سد خاکی. ۴۴
شکل ۲-۳۸- (شکل بالا) طیف دامنه‌ی فوریه برای رکوردهای شکل ۲-۳۷؛ (شکل پایین) طیف پاسخ بدون بعد. ۴۵
شکل ۲-۳۹- روابط تجربی استفاده شده برای ارزیابی تغییر مکان ساده شده. ۴۵
شکل ۲-۴۰- تغییر مکان های محاسبه شده با استفاده از روش های ساده شده. ۴۶
شکل ۲-۴۱- تغییر مکان در تاج سد خاکی که توسط روش بلوک لغزنده ارزیابی شده است. ۴۶
شکل ۲-۴۲- سطوح تسلیم مدل خاک سخت شونده و تکامل آن ها. ۴۷
شکل ۲-۴۳- مقایسه ی بین کاهش سختی (برشی) مشاهده شده در آزمایشهای RC و شبیه سازیهای مدل.. ۴۸
شکل ۲-۴۴- مش بندی بکار برده شده در تحلیل های عددی بدنه و پی با عمق متغیر سد خاکی..... ۴۹
شکل ۲-۴۵- خطوط کانتورهای شتاب افقی در زمانی بخصوص که شتاب حداکثر در تاج سد خاکی برای شتاب نگاشت های (شکل بالا) مصنوعی یا ساختگی، (شکل پایین) واقعی حاصل شده است. ۴۹
شکل ۲-۴۶- توابع بزرگ نمایی بر حسب فرکانس برای شتاب نگاشت های: (چپ) مصنوعی (ساختگی) و (راست) واقعی. ۵۰

شکل ۲-۴۷- خطوط کانتورهای مقاومت برشی بسیج شده برای شتاب نگاشت مصنوعی(در عمق zB=50m)
(شکل بالا) در زمانی که شتاب حداکثر در تاج سد حاصل شده (شکل پایین) در پایان اعمال رکورد زلزله..... ۵۰
شکل ۲-۴۸- خطوط کانتورهای کرنش انحرافی در انتهای حرکت زلزله برای (بالا) شتاب نگاشت مصنوعی-
ساختگی- (پایین) شتاب نگاشت واقعی با عمق پی ۵۰ متری..... ۵۱
شکل ۲-۴۹- حداکثر مقطع عرضی سد ال انفایرنیلو ۵۳
شکل ۲-۵۰- مولفه های افقی رکوردهای زلزله ی مختلف در حوزه ی زمان ۵۳
شکل ۲-۵۱-طیف پاسخ شتاب نگاشت های رکوردشده در طول حادثه ی زلزله ی ۱۹۷۹در پی و تاج سد ال
انفایرنیلو ۵۴
شکل ۲-۵۲- مسیر تنش برای مصالح قسمت های مختلف بدنه ی سد (هسته، فیلتر و خاکریزها) در فضای p-q
..... ۵۴
شکل ۲-۵۳- مش بندی های اجزاء محدود از دو مقطع عرضی A و B از سد ال انفایرنیلو..... ۵۵
شکل ۲-۵۴- پارامترهای مدل رفتاری درنظرگرفته شده برای مصالح خاکی سد مورد مطالعه در مقاله..... ۵۵
شکل ۲-۵۵- نمودار مدول برشی بدون بعد شده ی هسته ی سد و اضافه فشار آب حفره ای در مقابل کرنش
برشی.....۵۶
شکل ۲-۵۶- نمودار مدول برشی بدون بُعد شده ی پوسته ی سد (G/G0) در مقابل کرنش برشی ۵۶
شکل ۲-۵۷- طیف پاسخ شتابهای رکورد شده و محاسبه شده در تاج سد در طول زلزله ی ۱۹۷۹..... ۵۷
شکل ۲-۵۸- تغییر مکان های قائم محاسبه شده در طول زلزله ی سال ۱۹۷۹در سه نقطه از محور سد. نشست
های ماندگار اندازه گیری شده توسط پیکانی سیاه رنگ نشان داده شده است. ۵۷
شکل ۲-۵۹- تغییر مکان افقی محاسبه شده در مکان DM در طول زلزله ی سال ۱۹۷۹. تغییرمکان افقی اندازه
گیری شده توسط پیکانی سیاه رنگ نشان داده شده است..... ۵۸
شکل ۲-۶۰- نشست های پلاستیک (خمیری) در انتهای شبیه سازی بارگذاری زلزله در تاریخچه ی بارگذاری
#1. ..... ۵۸
شکل ۲-۶۱- تاریخچه های بارگذاری پیش- لرزه ای شبیه سازی شده در مطالعه ی پارامتری..... ۵۹
شکل ۲-۶۲- نشست قائم محاسبه شده در طول زلزله ی سال ۱۹۷۹ در تاج سد برای تاریخچه های بارگذاری
شمارهی 0# و1# و 2#.....۶۰
شکل ۲-۶۳- نشست قائم در تاج سد توسط زلزله ی سال ۱۹۸۵ میلادی برای تاریخچه های بارگذاری شمارهی
۳ و ۰.....۶۰
شکل ۲-۶۴- پاسخ المان (جزء) خاک در گره ی CN از هسته ی سد با در نظر گرفتن تاریخچه های مختلف
بارگذاری.....۶۱
شکل ۲-۶۵- کاهش ارتفاع آزاد سد خاکی با زلزله های اولیه (نمادهای توخالی) و پس لرزه ها (نمادهای توپر) به
ازای حداکثر شتاب های لرزش زلزله در بستر سد خاکی.....۶۱
شکل ۲-۶۶- مدل برپاشده با نمایش محل های تجهیزات اندازه گیری رفتار سد برای مدل های آزمایش
سانتریفیوژ.....۶۳
شکل ۲-۶۷- برنامه ی انجام آزمایش های سنتریفیوژ. ۶۳
شکل ۲-۶۸- رکورد شتاب ورودی (بر حسب g) در آزمایش مدل های سنتریفیوژ.....۶۳
شکل ۲-۶۹- خروجی های زمان در مقابل شتاب (g) برای مدل متراکم- متراکم- روانگرا (DDL).....۶۴

شکل ۲-۷۰- خروجی های زمان در مقابل فشار آب حفره ای (kPa) برای مدل متراکم- متراکم- روانگرا (DDL).....۶۴
شکل ۲-۷۱- تغییرشکل های داخلی اندازه گیری شده و پلات زمان (sec) در مقابل تغییرمکان (m) برای مدل متراکم- متراکم – روانگرا(DDL). ۶۵
شکل ۲-۷۲- خروجی های زمان در مقابل شتاب (g) برای مدل متراکم- روانگرا- متراکم(DLD). ۶۵
شکل ۲-۷۳- پلات خروجی های زمان *(sec)* در مقابل شتاب *(g)* برای مدل روانگرا- متراکم- متراکم *(LDD)*. ۶۵
شکل ۲-۷۴- طرح یک سد خاکی ایده آل شده برای محاسبات این تحقیق ۶۶
شکل ۲-۷۵- مدل های ترکیب شده در ۷ گروه تعریف شده برای مدلسازی ها ۶۷
شکل ۲-۷۶- جدول خصوصیات مصالح مختلف تعریف شده در مراحل مختلف تحلیل ضریب اطمینان. ۶۷
شکل ۲-۷۶- مش های سدهای خاکی با نسبت های مختلف طول تاج- ارتفاع سد (L-H) برای S=0. 5 و H=50m. ۶۸
شکل ۲-۷۸- مش بندی های سد با نسبت های مختلف ارتفاع سد به طول تاج (نسبت های L-H). ۶۹
شکل ۲-۷۹- زون بندی تعریف مصالح در مقطع عرضی نمونه ی سد (H=50m وr=2m). ۶۹
شکل ۲-۸۰- نتایج مقادیر ضرایب اطمینان موارد نمونه در حالات دو بعدی و سه بعدی. ۷۰
شکل ۲-۸۱- کانتورهای نمو تغییر مکان درست قبل ازگسیختگی برای شرایط دو بعدی: (شکل بالا) در مرحلهی ساخت و ساز پایانی (FCS) بدون ذخیره ی آب (H=50m، r=2. 0 و زیرگروه مصالح ۱)؛ (شکل پایین)در مرحلهی نشت دائم(SSS) از بدنه با ذخیره ی مخزن کامل(با مشخصات H=50m، r=2m و زیر گروه ۴)..... ۷۰
شکل ۲-۸۲- کانتورهای نمو تغییرمکان درست قبل از گسیختگی در شرایط سه بعدی در مرحله ی پایانی ساخت بدنه ی سد بدون ذخیره ی آب در مخزن سد (زیر گروه ۱ و طول L=100m). ۷۱
شکل ۲-۸۳- مقایسه ی مشارکت هر عامل در اثر سه بعدی ۷۱
شکل ۲-۸۴- رابطه ی بین نسبت نمویی ضریب اطمینان Fs با نسبت L-H سد برای گروه مصالح یک. [24]. ۷۲
شکل ۲-۸۵- رابطه ی بین نسبت نمو (رشد) ضریب اطمینان Fs و نسبت های L-H در سد برای گروه ۲. ... ۷۲
شکل ۲-۸۶- مقایسه ی بین رابطه ی بین نسبت نمویی ضریب اطمینان Fs (محور قائم نمودار) و نسبت L-H (محور افقی نمودار) در سد با گرادیان‌های (شیب‌های) مختلف شیب بدنه‌ی سد خاکی (زیر گروه ۱ و گروه ۷). ۷۳
شکل ۲-۸۷- مدل دو بعدی اجزای محدود سد مسجد سلیمان..... ۷۴
شکل ۲-۸۸- تابع چگالی طیفی ۷۵
شکل ۲-۸۹- نام گذاری حالت های مختلف تحلیل دینامیکی ۷۵
شکل ۲-۹۰- تنش در دو حالت تحلیل یکنواخت (uniform) و 6S Harich..... ۷۵
شکل ۲-۹۱- تنش قائم در دو حالت تحلیل یکنواخت (uniform) و 6S Harich. ۷۶
شکل ۲-۹۲- تنش برشی در دو حالت تحلیل یکنواخت (uniform) و 6S Harich. ۷۶
شکل ۲-۹۳- کرنش برشی در دو حالت تحلیل یکنواخت (uniform) و 6S Harich.....۷۶
شکل ۲-۹۴- مقادیر حداکثر پاسخ ها و درصد اختلاف آن ها نسبت به حالت تحریک یکنواحت (uniform). . ۷۷
شکل ۲-۹۵- چگونگی توزیع تنش دینامیکی نرمال در مقطعی در میانه ی نیمه ی ارتفاع هسته ی سد. ۷۷
شکل ۲-۹۶- چگونگی توزیع تنش دینامیکی نرمالدر مقطعی در میانه ی نیمه ی ارتفاع هسته ی سد. ۷۷
شکل ۲-۹۷- چگونگی توزیع تنش دینامیکی برشی در مقطعی در میانه ی نیمه ی ارتفاع هسته ی سد ۷۸

شکل ۳-۱- شرایط مرزی برای حالت بارگذاری دینامیکی از طریق تنش یا نیرو ۸۲
شکل ۳-۲- شرایط مرزی برای حالت بارگذاری دینامیکی از طریق شتاب یا سرعت ۸۳
شکل ۳-۳- استفاده از مرزهای منطقه ی آزاد در قسمت های جانبی و مرز آرام در قسمت تحتانی مدل ۸۵
شکل ۳-۴- مقطع عرضی سد لیتوان ۸۷
شکل ۳-۵- ویژگی مصالح سد لیتوان ۸۷
شکل ۳-۶- مش بندی سد لیتوان ۸۸
شکل ۳-۷- کنتورهای اشباع در بدنه سد ۸۹
شکل ۳-۸- تاریخچه شتاب نگاشت زلزله چی چی که به قسمت تحتانی سد اعمال گردید ۹۰
شکل ۳-۹- تاریخچه شتاب نگاشت قائم زلزله چی چی که به قسمت تحتانی سد اعمال گردید ۹۰
شکل ۳-۱۰- توزیع فشار آب حفره ای بدست آمده از مقاله موجود ۹۱
شکل ۳-۱۱- توزیع فشار آب حفره ای بدست آمده از تحقیق حاضر ۹۱
شکل ۳-۱۲- شتاب نگاشت افقی ثبت شده در مقاله موجود ۹۲
شکل ۳-۱۳- طیف فوریه شتاب افقی ثبت شده در تاج سد تحت زلزله چی چی ۹۲
شکل ۳-۱۴- مقایسه شتاب نگاشت افقی در تاج سد ۹۳
شکل ۳-۱۵- شتاب نگاشت قائم ثبت شده در تاج سد در مقاله موجود ۹۳
شکل۳-۱۶- مقایسه شتاب نگاشت قائم در تاج سد ۹۳
شکل ۳-۱۷- طیف فوریه شتاب قائم ثبت شده در تاج سد تحت زلزله چی چی ۹۴
شکل ۳-۱۸- نمودار شتاب قائم بر حسب فرکانس در تاج سد تحت زلزله چی چی..... ۹۴
شکل ۳-۱۹- نمایی از حداکثر مقطع عرضی سد خاکی قشلاق. ۹۶
شکل ۳-۲۰- مقطع ژئوتکنیکی محور سد ۹۷
شکل ۳-۲۱- شتاب نگاشت مقیاس شده ی برای سطح مبنای طراحی مولفه ی افقی زلزله کوبه..... ۹۹
شکل ۳-۲۲- شتاب نگاشت مقیاس شده ی برای سطح بالای طراحی مولفه ی افقی زلزله کوبه..... ۹۹
شکل ۳-۲۳- شتاب نگاشت مقیاس شده ی برای سطح سطح بیشینه پذیرفتنی مولفه ی افقی زلزله کوبه ۱۰۰
شکل ۳-۲۴- شتاب نگاشت مقیاس شده ی برای سطح مبنای طراحی مولفهی افقی زلزله چی چی. ۱۰۰
شکل ۳-۲۵- شتاب نگاشت مقیاس شده ی برای سطح بالای طراحی مولفهی افقی زلزله چی چی. ۱۰۰
شکل ۳-۲۶- شتاب نگاشت مقیاس شده ی برای سطح بیشینه پذیرفتنی مولفه ی افقی زلزله چی چی ۱۰۱
شکل ۳-۲۷- شتاب نگاشت مقیاس شده ی برای سطح مبنای طراحی مولفه ی افقی زلزله فرولی.....۱۰۱
شکل ۳-۲۸- شتاب نگاشت مقیاس شده ی برای سطح بالای طراحی مولفه ی افقی زلزله فرولی.....۱۰۱
شکل ۳-۲۹- شتاب نگاشت مقیاس شده ی برای سطح سطح بیشینه پذیرفتنی مولفه ی افقی زلزله فرولی...۱۰۱
شکل ۳-۳۰- شرایط مرزی در یک تحلیل دینامیکی برای سازه های سطحی یا نزدیک سطحی. (آ) بستر انعطاف پذیر برای اعمال تاریخچه ی تنش یا نیرو. (ب) بستر صلب برای اعمال تاریخچه ی شتاب یا سرعت.....۱۰۳
شکل ۳-۳۱- مدل تفاضل محدود دو بعدی (2D-FDM) سد قشلاق در نرم افزارFLAC 2D ۱۰۴
شکل ۳-۳۲- اعمال شرایط مرزی دینامیکی (FREE FIELD) به جوانب مدل در روش FDM به همراه نمایش فشار ناشی از آب پشت سد به بالادست سدو نمایش جهت شتابافقی اعمال شده به سنگ بستر در کف مدل عددی دو بعدی در یکی از تحلیل ها. ۱۰۴

شکل ۴-۱- پاسخ شتاب افقی مولفه افقی زلزله کوبه بابیشینه شتاب افقی 0.23g در سه نقطه از بدنه ی سد: تاج، پی، سنگ بستر.....۱۰۷
شکل ۴-۲- پاسخ شتاب افقی مولفه افقی زلزله کوبه بابیشینه شتاب افقی 0.23g بر حسب فرکانس در تاج سد و سنگ بستر.....۱۰۷
شکل ۴-۳- پاسخ شتاب افقی مولفه افقی زلزله کوبه بابیشینه شتاب افقی 0.23g در سه نقطه از بدنه ی سد: تاج، پی، سنگ بستر.....۱۰۷
شکل ۴-۴- پاسخ تغییر مکان افقی مولفه ی افقی زلزله کوبه با بیشنه شتاب افقی 0.23g در سه نقطه از بدنه ی سد: تاج، پی، سنگ بستر.....۱۰۸
شکل ۴-۵- پاسخ تغییر مکان افقی مولفه ی افقی زلزلهی کوبه با بیشنه شتاب افقی 0.23g در سه نقطه از بدنه ی سد: تاج، پی، سنگ بستر.....۱۰۸
شکل ۴-۶- پاسخ تغییر مکان قائم مولفه ی افقی زلزله کوبه با بیشنه شتاب افقی 0.23g در سه نقطه از بدنه ی سد: تاج، پی، سنگ بستر.....۱۰۹
شکل ۴-۷- پاسخ تغییر مکان قائم مولفه ی افقی زلزله کوبه با بیشنه شتاب افقی 0.23g در سه نقطه از بدنه ی سد: تاج، پی، سنگ بستر.....۱۰۹
شکل ۴-۸ پاسخ شتاب افقی مولفه افقی زلزله کوبه بابیشینه شتاب افقی 0.28g در سه نقطه از بدنهی سد: تاج، پی، سنگ بستر.....۱۱۰
شکل ۴-۹- پاسخ شتاب افقی مولفه افقی زلزله کوبه بابیشینه شتاب افقی 0. 28g بر حسب فرکانس در تاج سد و سنگ بستر.....۱۱۰
شکل ۴-۱۰- پاسخ تغییر مکان افقی مولفه ی افقی زلزله کوبه با بیشنه شتاب افقی 0.28g در سه نقطه از بدنه ی سد: تاج، پی، سنگ بستر.....۱۱۱
شکل ۴-۱۱- پاسخ تغییر مکان قائم مولفه ی افقی زلزله کوبه با بیشنه شتاب افقی 0.28g در سه نقطه از بدنه ی سد: تاج، پی، سنگ بستر.....۱۱۱
شکل ۴-۱۲- پاسخ شتاب افقی مولفه افقی زلزله کوبه بابیشینه شتاب افقی 0.4g در سه نقطه از بدنه ی سد: تاج، پی، سنگ بستر.....۱۱۲
شکل ۴-۱۳- پاسخ شتاب افقی مولفه افقی زلزله کوبه بابیشینه شتاب افقی 0.4g بر حسب فرکانس در تاج سد و سنگ بستر.....۱۱۲
شکل ۴-۱۴- پاسخ تغییر مکان افقی مولفه ی افقی زلزله کوبه با بیشنه شتاب افقی 0.4g در سه نقطه از بدنه ی سد: تاج، پی، سنگ بستر.....۱۱۳
شکل ۴-۱۵- پاسخ تغییر مکان قائم مولفه ی افقی زلزله کوبه با بیشنه شتاب افقی 0.4g در سه نقطه از بدنه ی سد: تاج، پی، سنگ بستر.....۱۱۳
شکل ۴-۱۶پاسخ شتاب افقی مولفه افقی زلزله فرولی بابیشینه شتاب افقی 0.23g در سه نقطه از بدنه ی سد: تاج، پی، سنگ بستر.....۱۱۴
شکل ۴-۱۷- پاسخ شتاب افقی مولفه افقی زلزله فرولی بابیشینه شتاب افقی 0.23g بر حسب فرکانس در تاج سد و سنگ بستر.....۱۱۴
شکل ۴-۱۸- پاسخ تغییر مکان افقی مولفه ی افقی زلزله فرولی با بیشنه شتاب افقی 0.23g در سه نقطه از بدنه ی سد: تاج، پی، سنگ بستر.....۱۱۵

شکل ۴-۱۹- پاسخ تغییر مکان قائم مولفه ی افقی زلزله فرولی با بیشنه شتاب افقی 0.23g در سه نقطه از بدنه ی سد: تاج، پی، سنگ بستر ۱۱۵
شکل ۴-۲۰- پاسخ شتاب افقی مولفه افقی زلزله فرولی بابیشینه شتاب افقی 0.28g در سه نقطه از بدنه ی سد: تاج، پی، سنگ بستر ۱۱۶
شکل ۴-۲۱- پاسخ شتاب افقی مولفه افقی زلزله فرولی بابیشینه شتاب افقی 0.28g بر حسب فرکانس در تاج سد و سنگ بستر ۱۱۶
شکل ۴-۲۲- پاسخ تغییر مکان افقی مولفه ی افقی زلزله فرولی با بیشنه شتاب افقی 0.28g در سه نقطه از بدنه ی سد: تاج، پی، سنگ بستر ۱۱۷
شکل ۴-۲۳- پاسخ تغییر مکان قائم مولفه ی افقی زلزله فرولی با بیشنه شتاب افقی 0. 28g در سه نقطه از بدنه ی سد: تاج، پی، سنگ بستر ۱۱۷
شکل ۴-۲۴- پاسخ شتاب افقی مولفه افقی زلزله فرولی بابیشینه شتاب افقی 0.4g در سه نقطه از بدنه ی سد: تاج، پی، سنگ بستر ۱۱۸
شکل ۴-۲۵- پاسخ شتاب افقی مولفه افقی زلزله فرولی بابیشینه شتاب افقی 0.4g بر حسب فرکانس در تاج سد و سنگ بستر ۱۱۸
شکل ۴-۲۶- پاسخ تغییر مکان افقی مولفه ی افقی زلزله ی فرولی با بیشنه شتاب افقی 0.4g در سه نقطه از بدنه ی سد: تاج، پی، سنگ بستر ۱۱۹
شکل ۴-۲۷- پاسخ تغییر مکان قائم مولفه ی افقی زلزله ی فرولی با بیشنه شتاب افقی 0.4g در سه نقطه از بدنه ی سد: تاج، پی، سنگ بستر ۱۱۹
شکل ۴-۲۲ پاسخ شتاب افقی مولفه افقی زلزله چی چی بابیشینه شتاب افقی 0.23g - در سه نقطه از بدنه ی سد: تاج، پی، سنگ بستر ۱۲۰
شکل ۴-۲۳- پاسخ شتاب افقی مولفه افقی زلزله چی چی بابیشینه شتاب افقی 0.23g- بر حسب فرکانس در تاج سد و سنگ بستر ۱۲۰
شکل ۴-۲۴- پاسخ تغییر مکان افقی مولفه ی افقی زلزله چی چی با بیشنه شتاب افقی 0.23g- در سه نقطه از بدنه ی سد: تاج، پی، سنگ بستر ۱۲۱
شکل ۴-۲۵- پاسخ تغییر مکان قائم مولفه ی افقی زلزله چی چی با بیشنه شتاب افقی 0.23g- در سه نقطه از بدنه ی سد: تاج، پی، سنگ بستر ۱۲۱
شکل ۴-۲۶- پاسخ شتاب افقی مولفه افقی زلزله چی چی بابیشینه شتاب افقی 0.28g -در سه نقطه از بدنه ی سد: تاج، پی، سنگ بستر ۱۲۲
شکل ۴-۲۷- پاسخ شتاب افقی مولفه افقی زلزله چی چی بابیشینه شتاب افقی 0.23g بر حسب فرکانس در تاج سد و سنگ بستر ۱۲۲
شکل ۴-۲۸- پاسخ تغییر مکان افقی مولفه ی افقی زلزله چی چی با بیشنه شتاب افقی 0.28g- در سه نقطه از بدنه ی سد: تاج، پی، سنگ بستر ۱۲۳
شکل ۴-۲۹- پاسخ تغییر مکان قائم مولفه ی افقی زلزله چی چی با بیشنه شتاب افقی 0.28g- در سه نقطه از بدنه ی سد: تاج، پی، سنگ بستر ۱۲۳
شکل ۴-۳۰- پاسخ شتاب افقی مولفه افقی زلزله چی چی بابیشینه شتاب افقی 0.4g -در سه نقطه از بدنه ی سد: تاج، پی، سنگ بستر ۱۲۴

شکل ۴-۳۱- پاسخ شتاب افقی مولفه افقی زلزله فرولی بابیشینه شتاب افقی 0.4g بر حسب فرکانس در تاج سد و سنگ بستر.....۱۲۴
شکل ۴-۳۲- پاسخ تغییر مکان افقی مولفه ی افقی زلزله چی چی با بیشنه شتاب افقی 0.4g- در سه نقطه از بدنهی سد: تاج، پی، سنگ بستر ۱۲۵
شکل ۴-۳۰- تغییرات بزرگنمایی برای سه حالت مختلف بیشنه شتاب افقی زلزله کوبه ۱۲۵
شکل ۴-۳۱- تغییرات جابه جایی افقی در تاج سد برای سه حالت مختلف بیشنه شتاب افقی زلزله کوبه.....۱۲۶
شکل ۴-۳۲- تغییرات جابه جایی قائم در تاج سد برای سه حالت مختلف بیشنه شتاب افقی زلزله کوبه.....۱۲۶
شکل ۴-۳۵- تغییرات جابه جایی قائم در تاج سد برای سه حالت مختلف بیشنه شتاب افقی زلزله فرولی ۱۲۸
شکل ۴-۳۶- تغییرات بزرگنمایی برای سه حالت مختلف بیشنه شتاب افقی زلزله چی چی ۱۲۸
شکل ۴-۳۷- تغییرات جابه جایی افقی در تاج سد برای سه حالت مختلف بیشنه شتاب افقی زلزله چی چی .۱۲۹
شکل ۴-۳۸- تغییرات جابه جایی قائم در تاج سد برای سه حالت مختلف بیشنه شتاب افقی زلزله چی چی .۱۲۹
شکل ۵-۱- مقایسه بزرگنمایی تاج سد تحت دو زلزله کوبه و فرولی با بیشینه های شتاب اعمالی یکسان ۱۳۳
شکل ۵-۲- مقایسه جابه جایی افقی تاج سد تحت دو زلزله کوبه و فرولی با بیشینه‌های شتاب اعمالی یکسان۱۳۳
شکل ۵-۳- مقایسه جابه جایی قائم تاج سد تحت دو زلزله کوبه و فرولی با بزرگا های یکسان ۱۳۳
شکل ۵-۴- تغییرات بزرگنمایی برای سه حالت مختلف بیشنه شتاب افقی زلزله فرولی ۱۳۴
شکل ۵-۶- تغییرات جابه جایی قائم برای سه حالت مختلف بیشنه شتاب افقی زلزله کوبه ۱۳۴
شکل ۵-۷- تغییرات جابه جایی افقی در تاج سد برای سه حالت مختلف بیشنه شتاب افقی زلزله کوبه.....۱۳۵

فهرست جداول

عنوان **صفحه**

جدول ۲-۱- سرعت امواج زلزله در محیط های خاکی مختلف..... ۸
جدول ۲-۲- مقدار $\alpha_n = a_n$ برای مدهای مختلف نوسان.....۱۶
جدول ۳-۱- مقادیر پارامترهای ژئومکانیکی تحلیل تنش – کرنش کوتاه مدت..... ۹۷

فصل اول

بیان مسأله و موضوع تحقیق

۱-۱- مقدمه

کشور ایران به عنوان یکی از مناطق زلزله خیز جهان همواره در طی سالیان گذشته در معرض زلزله های ویران‌کننده‌ای قرار داشته است. شرایط طبیعی و زمین شناسی ایران از نقطه نظر وقوع زلزله به طور جدی در دستور کار مهندسین و برنامه ریزان قرار گرفته است. با توجه به اینکه سدهای بسیاری در مناطق زلزله خیز احداث شده و یا در دست ساخت قرار دارند، طراحی ایمن آنها در برابر زلزله از اهمیت و جایگاه ویژه ای برخوردار است. بررسی دقیق پایداری لرزه ای سدهای خاکی از مسائل پیچیده در حوزه سازه های خاکی است. تنوع خواص دینامیکی بدنه سد و گوناگونی جنس و ضخامت شالوده که می توانند در انتقال، تضعیف و تقویت امواج زلزله نقش اساسی داشته باشند، وجود یا عدم وجود گسل فعال در محدوده محور سد، ویژگی های زلزله مانند فاصله مرکز زلزله تا سد، شدت و طول زمان وقوع زلزله، نوع و امتداد امواج رسیده به سد و محتوی فرکانسی امواج، همه از عواملی هستند که در پاسخ دینامیکی سد نقش به سزایی دارند.
به طور کلی سدهای خاکی، سازه های سه بعدی، عظیم، ناهمگن، غیر ایزوتروپ و غیر ارتجاعی هستند که در اندرکنش با شالوده و آب مخزن می باشند. مدلهای عددی که بتوانند تمام عوامل فوق را در نظر بگیرند از پیچیدگی زیادی برخوردار خواهند بود. بسته به اینکه کدام یک از شرایط فوق به طور مشخص حاکم بر مسئله باشد مدل می تواند آن پارامتر را ملحوظ نموده و به منظور یافتن رفتار واقعی تر سد آنها را در نظر بگیرد. در سالهای اخیر پیشرفت های صورت گرفته در هر دو زمینه نرم افزار و سخت افزار کامپیوتری بسیاری از این مشکلات را خصوصا در زمینه مدل کردن هندسه سه بعدی بدنه سدها و رفتار غیر خطی و غیر ارتجاعی خاک قابل حل نموده است. به همین نسبت پیشرفت های صورت گرفته در زمینه روش های آزمایشگاهی و صحرایی در ارزیابی خواص دینامیکی مصالح سد و نتایج حاصل از آزمایشهای اجباری سدها و ثبت پاسخ سدها در برابر زلزله های واقعی در جهت تصحیح و اعتبار بخشیدن به روش های عددی و تحلیلی بسیار موثر بوده است. [۱]

۱-۲- خرابی های مشاهده شده در سدها بر اثر زلزله

با توجه به مشاهدات و تجربه های موجود می توان علل محتمل آسیب پذیری سدهای خاکی را در برابر زلزله به شرح ذیل اعلام کرد:

۱- شکست و فروریختن سد به علت وجود گسل اصلی در زیر بدنه سد

۲- گسیختگی شیب های شیروانی سد د راثر تکان زلزله
۳- از بین رفتن ارتفاع آزاد در اثر نشست و یا لغزش دامنه ها
۴- لغزش سد بر روی لایه های ضعیف د راثر بارگذاری زلزله
۵- سرریز شدن آب از روی سد در اثر ایجاد امواج در آب مخزن و یا تاثیر زمین لغزه در مخزن سد
۶- شکست سرریز یا لوله های خروجی آب
۷- روانگرایی ماسه های اشباع با دانسیته کم و یا ازبین رفتن مقاومت رس های اشباع در اثر زلزله در رسهای حساس
۸- ترکهای طولی که در نزدیکی تاج، در اثر کرنش های کششی بزرگ ناشی از ارتعاش جانبی به وجود می آیند.
۹- ترکهای عزضی که در اثر کرنش های کششی ناشی از ارتعاش طولی و یا پاسخ جانبی متفاوت و در نزدیکی تکیه گاههای جانبی با شیب تند و یا مرکز تاج ایجاد می شوند.

۱-۳- بیان مساله

باتوجه به دامنه کاربرد سدهای خاکی در مقایسه با دیگر انواع سدها در کشور لرزه خیز ایران، تحلیل دینامیکی این گونه سدها از اهمیت ویژه ای برخوردار است. روش های مختلفی تاکنون برای پیش بینی رفتار انواع مختلف سدهای خاکی توصیه و بکار رفته است. روش شبه استاتیکی که بر مبنای تحلیلهای تعادل حدی قرار گرفته است. هرچند با کاربرد آسان و فرضیات ساده ایمنی سد را ارائه می دهد، اما در کنار این مزایا این روش قادر به در نظر گرفتن عامل افزایش فشار آب حفره ای در سد نمی باشد. از طرف دیگر روش شبه استاتیکی، بعضا می تواند به نتایج بسیار بدبینانه نسبت به پایداری لرزه ای سازه منجر شود که خود به ارائه طرحی غیر اقتصادی ختم می گردد.
امروزه با پیشرفت روز افزون و فرا گیر شدن کامپیوتر، استفاده از روش های عددی در تحلیل و طراحی سدهای خاکی در مقابل زلزله به مراتب از گذشته بیشتر شده است. انتخاب مدل رفتاری مناسب مهمترین فاکتور درآنالیز با روش های اجزای محدود یا تفاضل محدود سدهای خاکی، برای مدل کردن رفتار تنش کرنش خاکریز می باشد. به دلیل اینکه رفتار خاک الاستیک خطی نیست، استفاده از چنین مدلهایی می تواند به نتایج غیر ایمن و غیر اقتصادی منجر شود. همچنین در حین ساخت سد و بعد از آن بویژه در مرحله آبگیری، مسیرهای مختلفی از تنش همراه با دوران جهت تنش های اصلی در خاکریز رخ می دهند که در نتیجه مدلهای الاستیک غیر خطی نیز قادر به در نظر گرفتن وابستگی رفتار به مسیر تنش که در اثر رفتار غیر ارتجاعی خاک حادث می شود، نمی باشند.