دانشکده مهندسی عمران

مقایسه رفتار دینامیکی سدهای خاکی در حالت دوبعدی و سه بعدی

طاهره حیدری

پایان نامه جهت دریافت درجه کارشناسی ارشد
در رشته مهندسی عمران- خاک و پی

استاد راهنما :
دکتر محمد حسن بازیار

زمستان ۱۳۸۲

تقدیر و تشکر:

در ابتدا از استاد ارجمندم جناب آقای دکتر بازیار که امر هدایت و راهنمایی این پایان نامه را بر عهده داشتند و با عنایت و توجه خاص و همیشگی خود مرا در انجام این پروژه یاری نمـوده انـد و از آقایـان دکتر نورزاد، دکتر صالح زاده و دکتر شاه نظری که لطف نموده و داوری این پروژه را بر عهـده گرفتنـد نهایت امتنان و تشکر را دارم.

و همچنین از خانم مهندس سالمی که در تهیه این پایان نامه با راهنمایی و دلسوزی خـود مـرا در بـه ثمر رساندن این امر یاری نمودند متشکرم.

طاهره حیدری

اسفند۱۳۸۲

تقدیم به پدر و مادرم

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول: مقدمه و کلیات

۱-۱- مقدمه ۱

۱-۲- هدف پروژه ۲

۱-۳- مراحل انجام تحقیق ۳

۱-۴- معرفی فصلهای مختلف ۴

فصل دوم: روش های آنالیز دینامیکی سدهای خاکی

۲-۱- مقدمه ۶

۲-۲- نمونه‌هایی از خرابی سدهای خاکی در اثر زلزله ۹

۲-۲-۱- سد San Fernando ، ۱۹۷۱ ..... ۹

۲-۲-۲- سد Sheffield، زلزله Santa Barbara ۱۹۲۵ ..... ۱۱

۲-۲-۳- سد Hebgen، زلزله West Yellowston ۱۹۵۹ ..... ۱۲

۲-۳- عوامل مؤثر در طراحی لرزه‌ای سدهای خاکی ۱۴

۲-۴- روش‌های بررسی پایداری سد خاکی در برابر زلزله ۱۶

۲-۴-۱- آنالیز شبه استاتیکی ۱۶

۲-۴-۲- برآورد تغییر شکل‌های دائمی ۲۲

۲-۴-۲-۱- آنالیز نیومارک ۲۹

۲-۴-۲-۲- روش Seed و Makdisi ۲۹

۲-۴-۳- آنالیز دینامیکی ۳۲

۲-۴-۳-۱- روش معادل خطی ۳۲
۲-۴-۳-۲- روش غیرخطی ساده شده ۳۳
۲-۴-۳-۳- روش هیستریک گالرکین ۳۴
۲-۴-۳-۴- روش تیر برشی غیرالاستیک لایه‌ای (LISB)..... ۳۵
۲-۴-۳-۵- آنالیز تقریبی تنش مؤثر غیرخطی دو بعدی ۳۶
۲-۴-۳-۶-روش پلاستیک بر مبنای تکنیک‌های اجزاء محدود و تفاضل‌های محدود ۳۷
فصل سوم: بررسی تاثیر شکل سه بعدی دره در پاسخ دینامیکی سدهای خاکی
۳-۱- عوامل مؤثر در تحلیل پاسخ دینامیکی سدهای خاکی و سنگریزه‌ای ۳۸
۳-۲- تأثیر شکل سه بعدی دره..... ۳۹
۳-۲-۱- تأثیر شکل سه بعدی دره در تحریک یکنواخت پی سد ۳۹
۳-۲-۲- تاثیر شکل سه بعدی دره در تحریک غیر همسان امواج لرزه‌ای ۴۷
۳-۲-۲-۱-پاسخ سه بعدی سدها به امواج زاویه‌دار SH ۴۸
- اثر زاویه برخورد ۵۱
- تأثیر نسبت سرعت موج برشی Vcanyon/Vdam..... ۵۴
- اثر باریکی دره..... ۵۵
فصل چهارم: معرفی نرم‌افزار FLAC و بررسی صحت عملکرد آن
۴-۱- مقدمه ۵۶
۴-۲- آشنایی با نرم‌افزار *FLAC* ۵۶
۴-۲-۱- تفاضل محدود..... ۵۷
۴-۲-۲- Explicit، روش Time-Marching..... ۵۹
۴-۲-۳- آنالیز لاگرانژی ۶۲

۴-۲-۴- آنالیز پلاستیک ۶۲
۴-۳- روابط آنالیز عددی ۶۳
۴-۳-۱- المان بندی ۶۳
۴-۳-۲-محاسبه نرخ کرنش ۶۴
۴-۳-۳-محاسبه تنش ۶۵
۴-۳-۴-محاسبه جرم گره‌ای ۶۵
۴-۳-۵-محاسبه نیروی نامتعادل ۶۶
۴-۳-۶-محاسبه سرعت و جابه‌جایی ۶۷
۴-۳-۷-محاسبه هندسه اصلاح شده ۶۷
۴-۴- ویژگیهای نرم‌افزار FLAC برای تحلیل دینامیکی ۶۸
۴-۴-۱ مشخصات روش معادل خطی و غیرخطی ۶۸
- مشخصات روش معادل خطی ۶۹
-مشخصات روش غیرخطی کامل ۷۰
۴-۴-۲-روابط دینامیکی در نرم‌افزار FLAC ۷۲
۴-۴-۳- ویژگیهای مرزها در تحلیل دینامیکی ۷۳
۴-۴-۳-۱- مرزهای ویسکوز ۷۳
۴-۴-۳-۲-مرزهای *Free - Field* ۷۴
۴-۴-۴-میراکننده مکانیکی ۷۶
۴-۴-۴-۱-میرایی رالی ۷۷
۴-۴-۴-۲- میرایی محلی ۷۹
۴-۴-۵- انتقال موج ۷۹

۴-۵- بررسی صحت عملکرد برنامه ۸۱
۴-۵-۱- مدل ساخت مرحله‌ای ۸۱
۴-۵-۲-آنالیز دینامیکی و مقایسه آن با نرم‌افزار SHAKE91 ..... ۸۴
فصل پنجم: تحلیل استاتیکی و دینامیکی سد البرز در حالت دوبعدی و سه بعدی
۵-۱-معرفی سد مخزنی البرز ۸۹
۵-۱-۱-موقعیت جغرافیایی محل اجرای طرح ۸۹
۵-۱-۲- اهداف طرح ۸۹
۵-۱-۳-هندسه سد ۸۹
۵-۱-۴- مشخصات زمین شناسی ۸۹
۵-۱-۵- لرزه خیزی و برآورد خطر زمین لرزه در ساختگاه سد ۹۳
۵-۲- آنالیز دو بعدی سد البرز ۹۵
۵-۲-۱- آنالیز تنش-کرنش استاتیکی ۹۵
۵-۲-۱-۱-مدلسازی ۹۵
۵-۲-۱-۲- نتایج تحلیل استاتیکی ۹۷
۵-۲-۱-۳- بررسی تاثیر میرایی بر آنالیز استاتیکی ۱۰۰
۵-۲-۲-آنالیز دینامیکی ۱۰۱
۵-۲-۲-۱-مدلسازی ۱۰۱
۵-۲-۲-۲-انتخاب شتاب نگاشت ۱۰۱
۵-۲-۲-۳-مدل رفتاری مصالح و خصوصیات دینامیکی آنها ۱۰۴
۵-۲-۲-۴- نتایج تحلیل با استفاده از معادله موج raker ۱۰۴
۵-۲-۲-۵- نتایج تحلیل با استفاده از شتاب نگاشت زلزله منجیل ۱۱۱

۵-۲-۲-۶- مطالعه پارامتریک اثر میرایی ۱۱۷
۵-۲-۲-۷- مطالعه پارامتریک اثر سرعت موج برشی مصالح بر پاسخ سد ۱۱۸
۵-۳- آنالیز سه بعدی سد البرز ۱۲۰
۵-۳-۱-آنالیز سه بعدی سد با طول تاج ۸۴۰ متر(حالت ۱) ۱۲۱
۵-۳-۱-۱-آنالیز تنش- کرنش استاتیکی ۱۲۳
۵-۳-۱-۲- آنالیز دینامیکی با استفاده از معادله موج raker ۱۲۷
۵-۳-۱-۳- آنالیز دینامیکی با استفاده از شتاب نگاشت منجیل ۱۳۲
۵-۳-۲-آنالیز سه بعدی سد با طول تاج ۶۸۰ متر(حالت ۲) ۱۳۵
۵-۳-۲-۱-آنالیز تنش- کرنش استاتیکی ۱۳۶
۵-۳-۲-۲- آنالیز دینامیکی با استفاده از معادله موج raker ۱۳۸
۵-۳-۲-۳- آنالیز دینامیکی با استفاده از شتاب نگاشت منجیل ۱۴۳
۵-۳-۳-آنالیز سه بعدی سد با طول تاج ۳۴۰ متر(حالت ۳) ۱۴۵
۵-۳-۳-۱-آنالیز تنش- کرنش استاتیکی ۱۴۶
۵-۳-۳-۲- آنالیز دینامیکی با استفاده از معادله موج raker ۱۴۸
۵-۳-۳-۳- آنالیز دینامیکی با استفاده از شتاب نگاشت منجیل ۱۵۴
۵-۳-۴-آنالیز سه بعدی سد با طول تاج ۱۷۰ متر(حالت ۴) ۱۵۶
۵-۳-۴-۱-آنالیز تنش- کرنش استاتیکی ۱۵۷
۵-۳-۴-۲- آنالیز دینامیکی با استفاده از معادله موج raker ۱۵۹
۵-۳-۴-۳- آنالیز دینامیکی با استفاده از شتاب نگاشت منجیل ۱۶۴
۵-۴- تحلیل و بررسی نتایج..... ۱۶۶
۵-۴-۱- مقایسه نتایج آنالیزهای استاتیکی ۱۶۶

۵-۴-۲- مقایسه نتایج آنالیزهای دینامیکی دو بعدی و سه بعدی ۱۶۸
۵-۴-۲-۱- دره های عریض و کم عمق ۱۶۸
۵-۴-۲-۲- دره های تنگ ۱۷۳
فصل ششم: جمع بندی و نتیجه گیری ۱۷۸
منابع و مواخذ ۱۸۱

فهرست اشکال

عنوان **صفحه**

فصل دوم:

شکل۲-۱- نمائی از سد سن فرناندو پس از لغزش بالادست سد در زلزله ۱۹۷۱ ..... ۱۰

شکل۲-۲- نمائی از سد Sheffield، پس از خرابی در زلزله Santa Barbara ۱۹۲۵ ..... ۱۱

شکل۲-۳- نمائی از دریاچه سد Hebgen، پس از خرابی در زلزله West Yellowston ۱۹۵۹ ..... ۱۳

شکل ۲-۴- روش محاسبه پایداری شیبها در برابر زلزله (Terzaghi, 1950) ۱۷

شکل ۲-۵- آنالیز پایداری لرزه‌ای خاکریز سد Sheffield با استفاده از روش شبه استاتیکی ۱۸

شکل ۲-۶- آنالیز پایداری سد San Fernando با روش شبه استاتیکی ۱۹

شکل ۲-۷- نتایج آنالیز پایداری خاکریز سد San Fernando ۱۹

شکل ۲-۸- شکست سد انباشت رسوبات در اثر زلزله Oshima, 1978 در ژاپن ۲۰

شکل ۲-۹- نیروهای موثر بر بلوک لغزنده ۲۲

شکل ۲-۱۰ - انتگرالگیری از تاریخچه شتاب نسبت به زمان برای تعیین مقادیر سرعت و جابه‌جائی
(M.H. Baziar, 1991) ۲۴

شکل ۲-۱۱- تعیین شتاب مؤثر برای پتانسیل لغزش توده ۲۵

شکل ۲-۱۲- تغییر شکل دائمی برای زلزله‌هائی با بزرگی متفاوت (Newmark, 1965) ۲۶

شکل۲-۱۳ تغییر مکانهای محاسبه شده برای خاکریز سدهایی که در معرض زلزله‌ای به بزرگی ۶/۵ قرار
گرفته‌اند و در اثر زلزله کاهش مقاومت پیدا نمی‌کنند ۲۷

شکل ۲-۱۴ تغییر مکانهای محاسبه شده برای خاکریز سدهایی که در معرض زلزله‌ای به بزرگی ۶/۵ قرار
گرفته‌اند و در اثر زلزله کاهش مقاومت پیدا نمی‌کنند ۲۸

شکل ۲-۱۵- تغییر مکانهای محاسبه شده برای خاکریز سدهائی که در اثر زلزله کاهش مقاومت پیدا نمی کنند (Seed) ۲۷
شکل ۲-۱۶- متوسط تغییرات «حداکثر شتاب متوسط» در اعماق مختلف جرم لغزنده..... ۳۰
شکل ۲-۱۷- تغییرات تغییر مکان نرمالیزه شد متوسط برحسب شتاب جاری شدن ۳۱

فصل سوم:

شکل ۳-۱- تاثیر هندسه دره بر پریود طبیعی غالب ۴۰
شکل ۳-۲-پاسخ ماندگار به تحریک هارمونیک پی: (a) سد در دره نیمه استوانه‌ای به روش تحلیل سه بعدی و تحلیل تیر برشی مسطح (b) تاثیر شکل دره بر بزرگنمایی میان تاج..... ۴۵
شکل ۳-۳- بزرگنمایی تاج نسبت به کف برای سد Ririe در زلزله Mt. Borah سال 1983، پاسخ تئوری (منحنی نقطه چین) بوسیله مدل دو بعدی کرنش مسطح محاسبه شده است ۴۶
شکل ۳-۴- سد در دره مستطیل در معرض تحریک مایل (a) پرسپکتیو هندسه سد (b) مقطع سد (c)مقطع طولی به همراه امواج SH عبوری و منکسر شده (Dakulas 1990) ۴۹
شکل ۳-۵- بزرگنمایی میان تاج بر حسب فرکانس بدون بعد برای سدی در دره مستطیلی تحت اثر امواج SH مایل با زاویه: (a) 0°، 5°، 10°، 20° (b) 30°، 45°، 60° و 75° ۵۲
شکل ۳-۶- تغییرات ضریب بزرگنمائی در طول تاج سد در دره مستطیلی تحت اثر امواج SH مایل، برای ۴ نسبت طول موج به طول دره L (Gazetas & Dakolus, 1991) ۵۳
شکل ۳-۷- بزرگنمایی تاج سد برحسب فرکانس بدون بعد سه سد با نسبت سرعت موج S
∞، ۱۰، ۳ = V_{canyon}/V_{dam} (دره صلب) در دره مستطیلی تحت اثر امواج SHقائم..... ۵۵

فصل چهارم:

شکل ۴-۱- مراحل انجام محاسبات در FLAC ۶۰
شکل ۴-۲- تقسیم بندی یک المان مکعبی.....۶۴
شکل۴-۳- منحنی مدول برشی و نسبت میرایی نسبت به کرنش مسطح (Seed & Idriss, 1970).....۶۸

شکل ۴-۴- کاهش مدول برشی و میرایی نسبت به کرنش سیکلی برای مدل الاستوپلاستیک ۷۱
شکل ۴-۵-آنالیز دینامیکی سازه‌های سطحی با در نظر گرفتن مرزهای Freefield..... ۷۵
شکل ۴-۶- تغییرات نسبت میرایی بحرانی نرمالایز شده بر حسب فرکانس زاویه‌ای ۷۸
شکل ۴-۷- موج اعمال شده در کف مدل ۸۴
شکل ۴-۸- مدل یک بعدی شامل دو نوع مصالح..... ۸۵
شکل ۴-۹- تاریخچه شتاب افقی در بالای مدل ۸۷
شکل ۴-۱۰- کرنش برشی در دو مدل FLAC و SHAKE91 ..... ۸۸
شکل ۴-۱۱- تنش برشی در دو مدل FLAC و SHAKE91 ..... ۸۸

فصل پنجم:

شکل۵-۱- موقعیت جغرافیایی سد البرز..... ۹۰
شکل۵-۲- مقطع تیپ سد البرز ۹۱
شکل۵-۳- مقطع شماتیک زمین شناسی در امتداد محور سد ۹۲
شکل ۵-۴- المان بندی سد مخزنی البرز در نرم افزار FLAC 2D.....۹۶
شکل ۵-۵- کانتور تغییر مکان افقی در حالت استاتیکی(m) ۹۸
شکل ۵-۶- کانتور تغییرمکان قائم در حالت استاتیکی(m) ۹۸
شکل ۵-۷- کانتور تنشهای قائم در حالت استاتیکی(N/m^2)..... ۹۹
شکل ۵-۸- کانتور تنشهای افقی در حالت استاتیکی(N/m^2) ۹۹
شکل ۵-۹- کانتور تنشهای برشی در حالت استاتیکی(N/m^2) ۱۰۰
شکل ۵-۱۰-موج ریکر با شتاب حداکثر ۰/۳۵g.....۱۰۱
شکل ۵-۱۱- شتاب نگاشت و طیف دامنه فوریه زلزله منجیل مقیاس شده به ۰/۳۵ g ۱۰۳
شکل ۵-۱۲- کانتور تغییر شکلهای افقی پس از اعمال بار دینامیکی(m) ۱۰۵
شکل ۵-۱۳- کانتور تغییر شکلهای قائم پس از اعمال بار دینامیکی(m) ۱۰۵

شکل ۵-۱۴- تاریخچه تغییر مکان افقی در میانه تاج(m) ۱۰۶
شکل ۵-۱۵- تاریخچه تغییر مکان قائم در میانه تاج(m) ۱۰۶
شکل ۵-۱۶- تاریخچه تنش قائم در محل اتصال هسته رسی و پی (N/m^2) ۱۰۷
شکل ۵-۱۷- کانتور تنشهای برشی پس از اعمال زلزله (N/m^2) ۱۰۸
شکل ۵-۱۸- تاریخچه شتاب در میانه تاج سد و طیف دامنه فوریه آن ۱۰۹
شکل ۵-۱۹- تاریخچه شتاب در محل اتصال هسته رسی و پی..... ۱۱۰
شکل ۵-۲۰- تغییرات شتاب حداکثر نسبت به ارتفاع در محور سد ۱۱۰
شکل ۵-۲۱- کانتور تغییر شکلهای افقی پس از اعمال شتاب نگاشت منجیل..... ۱۱۲
شکل ۵-۲۲- کانتور تغییر شکلهای قائم پس از اعمال شتاب نگاشت منجیل ۱۱۲
شکل ۵-۲۳- تاریخچه تغییر مکان افقی در میانه تاج(m) ۱۱۳
شکل ۵-۲۴- تاریخچه تغییر مکان قائم در میانه تاج(m) ۱۱۳
شکل ۵-۲۵- کانتورهای تنش برشی پس از اعمال زلزله منجیل(N/m^2) ۱۱۴
شکل ۵-۲۶- تاریخچه شتاب بر روی بستر سنگی..... ۱۱۵
شکل۵-۲۷- تاریخچه شتاب بر روی آبرفت (در محل تماس هسته رسی به پی)..... ۱۱۵
شکل ۵-۲۸- تاریخچه شتاب بر روی تاج سد و طیف دامنه فوریه آن ۱۱۶
شکل۵-۲۹- تغییرات شتاب حداکثر نسبت به ارتفاع در محور سد تحت اثر زلزله منجیل ۱۱۷
شکل۵-۳۰- تغییرات شتاب حداکثر در تاج سد نسبت به ضریب میرایی ۱۱۸
شکل۵-۳۱- تغییرات شتاب حداکثر با ارتفاع در سه حالت سرعت موج برشی هسته ۱۱۹
شکل۵-۳۲- تغییرات ضریب بزرگنمایی تاج سد برحسب سرعت موج برشی هسته ۱۱۹
شکل ۵-۳۳- هندسه شماتیک دره سد در چهار حالت ۱۲۰
شکل ۵-۳۴- شکل سه بعدی پی و تکیه گاهها..... ۱۲۲
شکل ۵-۳۵- تنشهای اولیه در مقطع طولی دره..... ۱۲۲

شکل ۵-۳۶- مدل سه بعدی سد البرز به همراه مقاطع طولی و عرضی الف) مدل سه بعدی سد البرز
ب) مقطع طولی از محور سد ج) مقطع عرضی.....۱۲۴
شکل۵-۳۷-کانتور نشست قائم در مقطع ماکزیمم و طولی سد البرز (m).....۱۲۵
شکل۵-۳۸-کانتور تغییرمکان افقی در مقطع ماکزیمم سد البرز (m).....۱۲۵
شکل۵-۳۹- کانتورهای تنش قائم در مقطع ماکزیمم سد البرز (N/m^2).....۱۲۶
شکل۵-۴۰- کانتورهای تنش افقی در مقطع ماکزیمم سد البرز (N/m^2).....۱۲۶
شکل۵-۴۱- کانتورهای تنش برشی در مقطع ماکزیمم سد البرز در حالت سه بعدی(N/m^2) ۱۲۶
شکل۵-۴۲- شرلیط مرزی مدل در حالت بارگذاری دینامیکی.....۱۲۷
شکل۵-۴۳-کانتورهای تغییرشکل افقی در مقطع ماکزیمم و بدنه پس از اعمال موج ریکر با
شتاب ۰/۳۵ g ۱۲۸
شکل ۵-۴۴-کانتورهای تغییرشکل در امتداد تاج سد (محور y) در مقطع طولی پس از اعمال موج ریکر با
شتاب ۰/۳۵ g ۱۲۹
شکل ۵-۴۵-کانتورهای تغییرشکل قائم در مقطع ماکزیمم سد پس از اعمال موج ریکر با
شتاب ۰/۳۵ g ۱۲۹
شکل ۵-۴۶-کانتورهای تنش برشی در مقطع ماکزیمم سد پس از اعمال موج ریکر با شتاب ۰/۳۵ g ۱۲۹
شکل ۵-۴۷-تغییرات شتاب حداکثر نسبت به ارتفاع در مقطع ماکزیمم سد (موج ریکر۰/۳۵ g).....۱۳۰
شکل۵-۴۸-تغییرات شتاب حداکثر بر روی تاج در امتداد محور طولی سد (موج ریکر۰/۳۵ g) ۱۳۰
شکل ۵-۴۹- تاریخچه شتاب بر روی تاج سد به همراه موج ریکر و طیف دامنه فوریه آن.....۱۳۱
شکل ۵-۵۰- تغییرات شتاب حداکثر نسبت به ارتفاع در مقطع ماکزیمم سد (طیف منجیل۰/۳۵ g) ۱۳۳
شکل ۵-۵۱-تغییرات شتاب حداکثر بر روی تاج در امتداد محور طولی سد (طیف منجیل۰/۳۵ g) ۱۳۳
شکل ۵-۵۲- تاریخچه شتاب بر روی تاج سد و طیف دامنه فوریه آن (زلزله منجیل ۰/۳۵g) ۱۳۴
شکل۵-۵۳- شکل سه بعدی پی و تکیه گاهها.....۱۳۵

شکل ۵-۵۴- تنشهای اولیه در پی و تکیه گاه ۱۳۵
شکل ۵-۵۵- هندسه سه بعدی سد با طول تاج ۶۸۰ متر ۱۳۶
شکل ۵-۵۶- کانتورهای تغییرمکان قائم در مقطع ماکزیمم و طولی سد(m) ۱۳۷
شکل ۵-۵۷- کانتورهای تغییرمکان افقی در مقطع ماکزیمم سد(m) ۱۳۷
شکل۵-۵۸- کانتورهای تنش قائم در مقطع ماکزیمم سد (N/m^2).....۱۳۷
شکل۵-۵۹- کانتورهای تنش افقی در مقطع ماکزیمم سد (N/m^2).....۱۳۸
شکل ۵-۶۰-کانتورهای تنش برشی در مقطع ماکزیمم سد (N/m^2).....۱۳۸
شکل۵-۶۱-کانتورهای تغییرشکل افقی در بدنه سد و مقطع ماکزیمم پس از اعمال موج ریکر با
شتابg ۰/۳۵ .....۱۳۹
شکل ۵-۶۲-کانتورهای تغییرشکل افقی در جهت y در مقطع طولی سد پس از اعمال موج ریکر با
شتابg ۰/۳۵ .....۱۳۹
شکل ۵-۶۳-کانتورهای تغییرشکل قائم در مقطع ماکزیمم سد پس از اعمال موج ریکر با شتابg ۰/۳۵ . ۱۴۰
شکل ۵-۶۴-کانتورهای تنش برشی در مقطع ماکزیمم سد پس از اعمال موج ریکر با شتابg ۰/۳۵ .....۱۴۰
شکل ۵-۶۵- تغییرات شتاب حداکثر نسبت به ارتفاع در مقطع ماکزیمم سد (موج ریکر g ۰/۳۵).....۱۴۱
شکل ۵-۶۶-تغییرات شتاب حداکثر بر روی تاج در امتداد محور طولی سد (موج ریکرg ۰/۳۵).....۱۴۱
شکل ۵-۶۷- تاریخچه شتاب بر روی تاج سد به همراه موج ریکر و طیف دامنه فوریه آن ۱۴۲
شکل ۵-۶۸- تغییرات شتاب حداکثر نسبت به ارتفاع در مقطع ماکزیمم سد (طیف منجیل g ۰/۳۵)...۱۴۳
شکل ۵-۶۹-تغییرات شتاب حداکثر بر روی تاج در امتداد محور طولی سد (طیف منجیل g ۰/۳۵).....۱۴۳
شکل ۵-۷۰-تاریخچه شتاب بر روی تاج سد (طیف منجیل g ۰/۳۵).....۱۴۴
شکل ۵-۷۱- شکل سه بعدی پی و تکیه گاهها.....۱۴۵
شکل ۵-۷۲- تنشهای اولیه در پی و تکیه گاه ۱۴۵
شکل ۵-۷۳- هندسه سه بعدی سد با طول تاج ۳۴۰ متر ۱۴۶

شکل ۵-۷۴- کانتورهای تغییرمکان قائم در مقطع ماکزیمم و طولی سد(m) ۱۴۷
شکل ۵-۷۵- کانتورهای تغییرمکان افقی در مقطع ماکزیمم سد(m) ۱۴۷
شکل۵-۷۶- کانتورهای تنش قائم در مقطع ماکزیمم سد (N/m^2) ۱۴۷
شکل۵-۷۷- کانتورهای تنش افقی در مقطع ماکزیمم سد (N/m^2) ۱۴۸
شکل ۵-۷۸-کانتورهای تنش برشی در مقطع ماکزیمم سد (N/m^2) ۱۴۸
شکل۵-۷۹-کانتورهای تغییرشکل افقی پس از اعمال موج ریکر با شتابg ۰/۳۵ در ۱) بدنه سد (سه بعدی) ۲) مقطع ماکزیمم ۳) مقطعی در نزدیکی تکیه گاه که حداکثر تعییر مکان افقی در آن اتفاق می افتد ۱۴۹
شکل ۵-۸۰-کانتورهای تغییرشکل افقی در جهت y در مقطع طولی سد پس از اعمال موج ریکر با شتابg ۰/۳۵ .....۱۵۰
شکل۵-۸۱-کانتورهای تغییرشکل قائم در مقطع ماکزیمم سد پس از اعمال موج ریکر با شتابg ۰/۳۵ ..۱۵۰
شکل ۵-۸۲-کانتورهای تنش برشی پس از اعمال موج ریکر با شتابg ۰/۳۵در مقطع ماکزیمم سد و سطح تماس هسته و فیلتر ۱۵۱
شکل ۵-۸۳- تغییرات شتاب حداکثر نسبت به ارتفاع در مقطع ماکزیمم سد (موج ریکر g ۰/۳۵).....۱۵۲
شکل ۵-۸۴-تغییرات شتاب حداکثر بر روی تاج در امتداد محور طولی سد (موج ریکرg ۰/۳۵) ۱۵۲
شکل ۵-۸۵- تاریخچه شتاب بر روی تاج سد به همراه موج ریکر و تابع طیف دامنه فوریه ۱۵۳
شکل ۵-۸۶- تغییرات شتاب حداکثر نسبت به ارتفاع در مقطع ماکزیمم سد (طیف منجیل g ۰/۳۵)...۱۵۴
شکل ۵-۸۷-تغییرات شتاب حداکثر بر روی تاج در امتداد محور طولی سد (طیف منجیل g ۰/۳۵) ۱۵۴
شکل۵-۸۸-تاریخچه شتاب بر روی تاج سد و تابع بزرگنمایی فوریه(طیف منجیل g ۰/۳۵) ۱۵۵
شکل ۵-۸۹- شکل سه بعدی پی و تکیه گاهها ۱۵۶
شکل ۵-۹۰- تنشهای اولیه در پی و تکیه گاه ۱۵۶
شکل ۵-۹۱- هندسه سه بعدی سد با طول تاج ۱۷۰ متر ۱۵۷

شکل ۵-۹۲- کانتورهای تغییرمکان قائم در مقطع ماکزیمم و طولی سد(m) ۱۵۸
شکل ۵-۹۳- کانتورهای تغییرمکان افقی در مقطع ماکزیمم سد(m) ۱۵۸
شکل۵-۹۴- کانتورهای تنش قائم در مقطع ماکزیمم سد (N/m^2).....۱۵۸
شکل۵-۹۵- کانتورهای تنش افقی در مقطع ماکزیمم سد (N/m^2).....۱۵۹
شکل ۵-۹۶-کانتورهای تنش برشی در مقطع ماکزیمم سد (N/m^2).....۱۵۹
شکل۵-۹۷-کانتورهای تغییرشکل افقی پس از اعمال موج ریکر با شتابg ۰/۳۵ در ۱) بدنه سد
۲) مقطع ماکزیمم.....۱۶۰
شکل ۵-۹۸-کانتورهای تغییرشکل افقی در جهت y در مقطع طولی سد پس از اعمال موج ریکر با
شتابg ۰/۳۵ .....۱۶۰
شکل ۵-۹۹-کانتورهای تغییرشکل قائم در مقطع ماکزیمم سد پس از اعمال موج ریکر با
شتابg ۰/۳۵ .....۱۶۱
شکل ۵-۱۰۰-کانتورهای تنش برشی پس از اعمال موج ریکر با شتابg ۰/۳۵ در مقطع ماکزیمم سد و
سطح تماس هسته و فیلتر ۱۶۱
شکل ۵-۱۰۱- تغییرات شتاب حداکثر نسبت به ارتفاع در مقطع ماکزیمم سد (موج ریکر g ۰/۳۵).....۱۶۲
شکل ۵-۱۰۲-تغییرات شتاب حداکثر بر روی تاج در امتداد محور طولی سد (موج ریکرg ۰/۳۵).....۱۶۲
شکل ۵-۱۰۳- تاریخچه شتاب بر روی تاج سد به همراه موج ریکر و تابع بزرگنمایی فوریه آن ۱۶۳
شکل ۵-۱۰۴- تغییرات شتاب حداکثر نسبت به ارتفاع در مقطع ماکزیمم سد (طیف منجیل g ۰/۳۵)..۱۶۴
شکل ۵-۱۰۵-تغییرات شتاب حداکثر بر روی تاج در امتداد محور طولی سد (طیف منجیل g ۰/۳۵).....۱۶۴
شکل ۵-۱۰۶-تاریخچه شتاب بر روی تاج سد و تابع طیف فوریه آن (طیف منجیل g ۰/۳۵) ۱۶۵
شکل ۵-۱۰۷- حداکثر تغییرمکان قائم و افقی نسبت به L/H.....۱۶۷
شکل ۵-۱۰۸- تغییرات شتاب حداکثر در مقطع میانی سد در دره های عریض در آنالیز دوبعدی و سه بعدی
تحت تاثیر موج ریکر.....۱۷۰

شکل ۵-۱۰۹- تغییرات شتاب حداکثر در طول تاج سد در دره های عریض تحت تاثیر موج ریکر.....۱۷۰
شکل ۵-۱۱۰- تغییرات شتاب حداکثر در مقطع میانی سد در دره های عریض در آنالیز دوبعدی و سه بعدی تحت تاثیر زلزله منجیل ۱۷۲
شکل ۵-۱۱۱- تغییرات شتاب حداکثر در طول تاج سد در دره های عریض تحت تاثیر زلزله منجیل.....۱۷۲
شکل ۵-۱۱۲- تغییرات شتاب حداکثر در مقطع میانی سد در دره های تنگ در آنالیز دوبعدی و سه بعدی تحت تاثیر موج ریکر.....۱۷۴
شکل ۵-۱۱۳- تغییرات شتاب حداکثر در طول تاج سد در دره های تنگ تحت تاثیر موج ریکر.....۱۷۴
شکل ۵-۱۱۴- تغییرات شتاب حداکثر در مقطع میانی سد در دره های تنگ در آنالیز دوبعدی و سه بعدی تحت تاثیر زلزله منجیل ۱۷۶
شکل ۵-۱۱۵- تغییرات شتاب حداکثر در طول تاج سد در دره های تنگ تحت تاثیر موج ریکر.....۱۷۶
شکل ۵-۱۱۶- تغییرات بزرگنمایی در تاج سد بر حسب ضریب شکل دره تحت اثر زلزله ریکر ۱۷۷
شکل ۵-۱۱۷- تغییرات بزرگنمایی در تاج سد بر حسب ضریب شکل دره تحت اثر زلزله منجیل ۱۷۷

فهرست جداول

عنوان **صفحه**

فصل دوم:

جدول ۲-۱ راههای ممکن که منجر به شکست سدهای خاکی در زلزله می‌گردد (Seed, 1979). ۱۴

جدول ۲-۲- حد بالای مقادیر جابه‌جائی پیش‌بینی شده برای خاکریزهائی که در معرض زلزله‌ای با بزرگی ۶/۵ قرار گیرند (مقدار کم یا عدم کاهش مقاومت در اثر زلزله)..... ۲۸

جدول ۲-۳- حد بالای مقادیر جابه‌جائی پیش‌بینی شده برای خاکریزهائی که در معرض زلزله‌ای با بزرگی ۸/۲۵ قرار گیرند (مقدار کم یا عدم کاهش مقاومت در اثر زلزله) ۲۸

فصل سوم:

جدول ۳-۱- عبارات تحلیلی برخی مدلهای دوبعدی و سه بعدی سد خاکی (Gazetas & Dakolus, 1992)..... ۴۳

فصل چهارم:

جدول۴-۱ مقایسه روش مشتق ضمنی و مشتق صریح.....۶۱

جدول ۴-۲- تغییر مکان نقاط راس قطعات مختلف یک میله با ساخت مرحله‌ای ۸۲

جدول ۴-۳- مقایسه دستی و کامپیوتری مقادیر بدست آمده برای نشست نقاط واقع در راس قطعات مختلف میله (برحسب 10^{-5} cm) ۸۳

جدول۴-۳-خصوصیات مصالح مورد استفاده در مدل ۸۶

فصل پنجم:

جدول ۵-۱- برخی گسلهای موجود و مهم در گستره مورد بررسی ۹۴

جدول ۵-۲-سطوح مختلف شتاب مبنای طراحی برای سد مخزنی البرز ۹۴

جدول ۵-۳- پارامترهای ژئوتکنیکی مصالح.....۹۶

جدول ۵-۴- سرعت موج برشی مصالح ۱۰۴
جدول ۵-۵- خلاصه ای از نتایج آنالیزهای استاتیکی در حالت دوبعدی و سه بعدی ۱۶۶
جدول ۵-۶- خلاصه ای از نتایج آنالیز دینامیکی در دره های عریض در حالت دوبعدی و سه بعدی تحت تاثیر موج ریکر ۱۶۸
جدول ۵-۷- خلاصه ای از نتایج آنالیز دینامیکی در دره های عریض در حالت دوبعدی و سه بعدی تحت تاثیر زلزله منجیل ۱۷۱
جدول ۵-۸- خلاصه ای از نتایج آنالیز دینامیکی در دره های تنگ در حالت دوبعدی و سه بعدی تحت تاثیر موج ریکر ۱۷۳
جدول ۵-۹- خلاصه ای از نتایج آنالیز دینامیکی در دره های عمیق در حالت دوبعدی و سه بعدی تحت تاثیر زلزله منجیل ۱۷۵