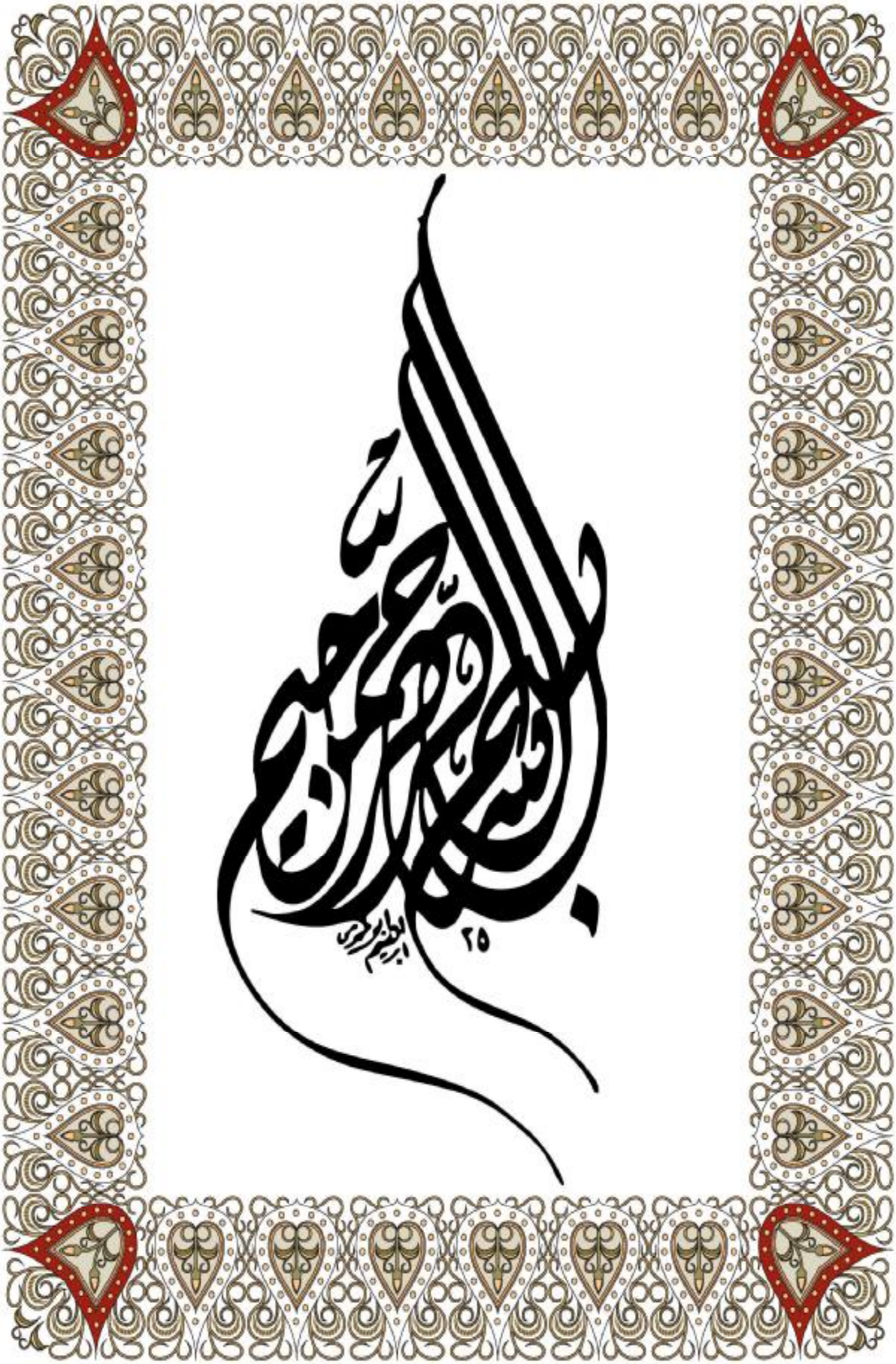
بسم الله الرحمن الرحيم
٢٥
ابراهيم الحمدي

دانشگاه بوعلی سینا

دانشکده مهندسی

گروه مهندسی عمران

پایان نامه :

برای دریافت درجه کارشناسی ارشد در رشته عمران

(گرایش مکانیک خاک و پی)

عنوان :

تحلیل دینامیکی سد خاکی آزادی با نگاهی ویژه به توزیع فشار منفذی در هسته آن

استاد راهنما :

دکتر عباس قدیمی

استاد مشاور:

دکتر محمد ملکی

پژوهشگر:

تحسین کارگری

مهرماه ۱۳۸۸

همه امتیازهای این پایان نامه به دانشگاه بوعلی سینا تعلق دارد و در صورت استفاده تمام یا بخشی از مطالب پایان نامه در مجلات، کنفرانسها و یا سخنرانیها باید نام دانشگاه بوعلی سینا (یا استاد راهنمای پایان نامه) و نام دانشجو با ذکر مأخذ و ضمن کسب مجوز کتبی از دفتر تحصیلات تکمیلی دانشگاه ثبت شود در غیر این صورت مورد پیگرد قانونی قرار خواهد گرفت.

تقدیم به:

وجود پر از مهر

پدر بزرگوار

و

مادر عزیزم

تقدیم به:

همسر گراممیم

که همواره یار و یاورم بوده اند

تشکر و قدردانی

حمد وسپاس بی‌کران خداوندی را که یاریم داد تا با بهره از گسترش بی‌انتهای لطفش، گذر از مرحله‌های زندگیم را تجربه نمایم. خداوندی را که بر هر نعمت حق سپاسی برای بندگان مقرر فرموده است.

بر خود لازم می‌دانم از همه کسانی که در انجام این مهم مرا یاری نمودند تشکر و قدردانی نمایم.

از زحمات استاد محترم راهنما، آقای دکتر عباس قدیمی تقدیر و تشکر می‌نمایم که در مراحل مختلف این تحقیق مرا یاری نمودند و سایه به سایه قدمهای ناتوانم را توان بخشیدند.

همچنین از زحمات آقای دکتر محمد ملکی به عنوان استاد مشاور که مرا از راهنمایی ارزنده‌شان بهره‌مند ساختند، تشکر می‌کنم.

و در پایان از برادر عزیزم مهندس آرمان کارگری که در طول این پایان‌نامه از همکاریهایشان استفاده نمودم نهایت تشکر و قدردانی را دارم.

نام خانوادگی: کارگری **نام**: تحسین

عنوان پایان‌نامه:

تحلیل دینامیکی سد خاکی آزادی با نگاهی ویژه به توزیع فشار منفذی در هسته آن

استاد راهنما: دکتر عباس قدیمی **استاد مشاور:** دکتر محمد ملکی

مقطع: کارشناسی ارشد **رشته:** عمران **گرایش:** خاک و پی **دانشگاه:** بوعلی سینا
دانشکده: مهندسی **تاریخ فارغ‌التحصیلی:** مهرماه ۱۳۸۸ **تعداد صفحه:** ۲۰۶

واژه‌های کلیدی: تحلیل دینامیکی، فشار منفذی، سد خاکی

چکیده:

مطالعه آثار زلزله در بسیاری از سدهای خسارت دیده بر اثر این پدیده که با روش‌های استاتیکی و شبه استاتیکی طراحی شده‌اند بیانگر عدم کفایت این گونه روش‌ها در پیش‌بینی رفتار واقعی سدها حین زلزله می‌باشد. بنابراین بسیار مهم است تا وضعیت پایداری سدها در مقابل زلزله‌هایی در حد **(MCE)** و بر اساس رفتار واقعی آنها تحت بارهای دینامیکی با استفاده از روش‌های جدید مورد ارزیابی قرار گیرد. در حال حاضر روش‌های مدل‌سازی عددی فراگیرترین روش‌های محاسباتی برای تحلیل مسائل مختلف مهندسی می‌باشند.

در این پایان نامه با استفاده از نرم افزار **Flac** که یک برنامه تفاضل محدود صریح برای شبیه‌سازی رفتار سازه‌های خاکی و سنگی است تحلیل دینامیکی سد خاکی آزادی، واقع در استان کرمانشاه انجام گرفته است. بدین منظور سعی شده است تا کلیه مراحل مدل‌سازی شامل شرایط پی قبل از ساخت سد، حین ساخت، مرحله تحکیم، مرحله آبگیری، ایجاد شرایط تراوش پایدار و شرایط وقوع زلزله در حین بهره‌برداری به تفصیل مورد بررسی قرارگیرد. در نهایت با انجام تحلیل دینامیکی برای سطوح مختلف طراحی با مدل‌های رفتاری متفاوت و در شرایط زهکشی شده و زهکشی نشده ضمن تعیین تنش‌ها، کرنش‌ها و تغییر مکان‌ها درنقاط مختلف سد، نگاه ویژه‌ای به الگوی تغییرات فشار منفذی در هسته سد شده است. نتایج تحلیل‌ها بیانگر افزایش فشار آب منفذی خصوصاً در بخش‌های میانی ارتفاع هسته می‌باشد که با افزایش شدت زلزله‌ها این روند افزایش می‌یابد.

فهرست مطالب

فصل اول: مروری بر ادبیات فنی

۱-۱- مقدمه ۱

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

۱-۳- آثار زلزله بر سدهای خاکی ۳

۱-۳-۱- سد **San Fernando** ۵

۱-۳-۲- سد **Sheffield** ۷

۱-۳-۳- سد **Hebgen** ۸

۱-۴- مبانی محاسباتی ارتباط سدها با زلزله ۱۰

۱-۴-۱- روش‌های مطالعه پایداری سدهای خاکی در مقابل زلزله ۱۱

۱-۴-۲- پایداری سدهای خاکی هنگام زلزله ۱۱

۱-۵- روش‌های تحلیل شبه استاتیکی ۱۴

۱-۵-۱- نحوه اعمال نیروها ۱۷

۱-۵-۲- فرضیات روش شبه استاتیکی با ضریب لرزه‌ای ثابت ۱۷

۱-۵-۳- انتخاب ضریب لرزه‌ای مناسب برای تحلیل شبه استاتیکی ۱۸

۱-۵-۳-۱- دلایل استفاده از فرض ضریب لرزه‌ای ثابت ۱۹

۱-۵-۴- روش‌های برآورد تغییر شکل‌های دائمی ۱۹
۱-۵-۴-۱- تحلیل **Newmark** ۱۹
۱-۵-۴-۲- روش **Makdisi & Seed** ۲۴
۱-۵-۴-۳- روش **Sarma** ۲۵
۱-۵-۴-۴- روش **Mineiro** ۲۶
۱-۶- روش‌های دینامیکی ۲۷
۱-۶-۱- تحلیل با روش پاسخ ویسکو الاستیک ۲۷
۱-۶-۲- روش **Jay krishna** ۳۵
۱-۶-۳- روش **Seed & Martin** ۳۷
۱-۶-۴- روش اجزای محدود ۳۹
۱-۷- فشار منفذی و حالات بحرانی در سدهای خاکی ۴۴
۱-۷-۱- فشار منفذی ۴۴
۱-۷-۲- فاکتورهای مؤثر بر فشارهای منفذی ۴۵
۱-۷-۲-۱- درصد رطوبت تراکم ۴۵
۱-۷-۲-۲- نوع خاک ۴۵
۱-۷-۲-۳- سرعت ساخت ۴۶
۱-۷-۲-۴- نوع مقطع، فرصت زهکشی ۴۶
۱-۷-۳- فشار آب منفذی ناشی از ساخت ۴۷
۱-۷-۳-۱- پیش‌بینی فشار منفذی ناشی از ساخت ۴۷
۱-۷-۳-۲- تعیین فشار منفذی حین ساخت با روش **Hilf** و **Bishop** ۵۰
۱-۷-۴- اثر پخش فشار منفذی بر درجه‌ی اشباع ۵۴
۱-۷-۵- روش‌های کاهش فشار منفذی در حین ساخت ۵۵
۱-۷-۶- فشار منفذی در شرایط نشت پایدار ۵۷

۱-۷-۷- فشار منفذی در مرحله‌ی افت ناگهانی سطح آب ۵۹
۱-۸- خلاصه و جمع بندی فصل اول ۵۹

فصل دوم: مبانی تحلیل دینامیکی و معرفی نرم افزار

۲-۱- مقدمه ۶۱
۲-۲- معرفی نرم‌افزار مورد استفاده ۶۲
۲-۲-۱- معرفی برنامه محاسباتی **Flac 5.0** ۶۳
۲-۲-۲- خصوصیات و قابلیت‌های برنامه **Flac 5 .0** ۶۳
۲-۲-۳- روش تفاضل محدود ۶۵
۲-۲-۳-۱- مدل رفتاری **Flac** در انجام تحلیل دینامیکی ۶۸
۲-۲-۳-۲- در نظر گرفتن آثار متقابل آب و فاز جامد (تحلیل تراوش) ۶۸
۲-۲-۳-۳- انواع شرایط مرزی در حالت جریان تراوشی ۶۹
۲-۲-۳-۴- تولید فشار آب منفذی دینامیکی ۷۰
۲-۲-۳-۵- مدلهای **Finn** و **Byrne** ۷۰
۲-۲-۴-تحلیل دینامیکی ۷۲
۲-۲-۴-۱- دیدگاه کلی ۷۲
۲-۲-۴-۲- شرحی در روش معادل خطی ۷۲
۲-۲-۴-۳- مشخصات روش معادل خطی ۷۳
۲-۲-۴-۴- مشخصات روش غیرخطی کامل ۷۳
۲-۲-۴-۵- روش معادل خطی و غیرخطی ۷۵
۲-۲-۵- بخش دینامیکی **Flac** ۷۷
۲-۲-۵-۱- بارگذاری دینامیکی در **Flac** ۷۷
۲-۲-۵-۲- روابط دینامیکی در نرم‌افزار **Flac** ۷۸

۲-۲-۵-۳- ملاحظات تحلیل دینامیکی ۷۹
الف- بارگذاری لرزه‌ای و نحوه اعمال شرایط مرزی ۸۰
ب- تصحیح خط مبنا ۸۲
پ- فیلتر کردن موج ورودی ۸۳
۲-۲-۶- ویژگی‌های مرزها در تحلیل دینامیکی ۸۴
۲-۲-۶-۱- شرایط مرزی ۸۴
۲-۲-۶-۲- مرزهای ویسکوز (جذب کننده انرژی) ۸۵
۲-۲-۶-۳- مرزهای محیط آزاد ۸۵
۲-۲-۶-۴- میرایی رایلی ۸۷
۲-۳- مراحل مدل‌سازی در **Flac** ۹۰
۲-۳-۱- معرفی زبان برنامه نویسی **Fish** ۹۳
۲-۴- خلاصه و جمع بندی فصل دوم ۹۴

فصل سوم: مبانی مدل‌های رفتاری مورد استفاده

۳-۱- مدل‌سازی رفتاری ۹۶
۳-۲- نظریه محیط‌های پیوسته در مکانیک خاک ۹۶
۳-۲-۱- معادلات مکانیک جامدات ۹۷
۳-۲-۲- معادلات رفتاری ۹۷
۳-۲-۳- مدل‌های رفتاری الاستیک-پلاستیک ۹۸
۳-۲-۳-۱- الاستیسیته و مدل‌سازی ۹۹
۳-۲-۳-۲- پلاستیسیته و مدل‌سازی ۱۰۰
الف- تاریخچه ۱۰۰
ب- تئوری پلاستیسیته در خاک‌ها ۱۰۱
۳-۲-۴- معیارهای گسیختگی ۱۰۴

۳-۲-۴-۱- مدل رفتاری مور-کلمب..... ۱۰۵
الف- معیار گسیختگی در مدل مور-کلمب..... ۱۰۷
ب- پتانسیل خمیری..... ۱۰۹
پ- قانون ارتجاعی در مدل مور-کلمب..... ۱۰۹
ت- حدود مقادیر پارامترهای مدل مور-کلمب..... ۱۱۱
۳-۳- خلاصه و جمع بندی فصل سوم..... ۱۱۲

فصل چهارم: مشخصات ژئوتکنیکی و لرزه ای ساختگاه سد مورد مطالعه

۴-۱- موقعیت و مشخصات طرح..... ۱۱۴
۴-۲- زمین شناسی مهندسی ساختگاه سد خاکی آزادی و مؤلفه‌های وابسته..... ۱۱۸
۴-۳- پارامترهای ژئومکانیکی توده سنگ ساختگاه..... ۱۱۹
۴-۴- پارامترهای ژئومکانیکی رسوبات آبرفتی پی سد خاکی آزادی..... ۱۱۹
۴-۵- لرزه خیزی منطقه طرح..... ۱۲۴
۴-۵-۱- معرفی سطوح لرزه‌ای در طراحی..... ۱۲۴
۴-۵-۲- تاریخچه زمانی شتابنگاشت‌ها..... ۱۲۶
۴-۵-۲-۱- انتخاب شتابنگاشت‌ها..... ۱۲۷
۴-۵-۲-۲- تهیه طیف پاسخ شتاب شتابنگاشت..... ۱۲۸
۴-۵-۲-۳- معرفی طیف طرح برای سطوح مختلف طراحی..... ۱۲۸
۴-۵-۲-۴- نمونه‌ای از مقیاس کردن شتابنگاشت (زلزله طبس)..... ۱۳۰
۴-۶- خلاصه و جمع بندی فصل چهارم..... ۱۳۹

فصل پنجم: تحلیل‌های عددی و بررسی نتایج

۵-۱- مقدمه ۱۴۱

۵-۲- شرایط اولیه و ساخت سد ۱۴۲

۵-۳- مدل‌سازی مرحله ساخت ۱۴۳

۵-۴- نتایج تحلیل مرحله ساخت ۱۴۸

۵-۵- آبگیری مخزن ۱۵۸

۵-۶- انجام تحلیل تراوش ۱۶۰

۵-۷- تحلیل دینامیکی ۱۶۷

۵-۷-۱- ملاحظات اعمال شده در تحلیل دینامیکی ۱۶۷

۵-۷-۲- ورودی دینامیکی زلزله ۱۶۸

۵-۷-۳- تحلیل دینامیکی سد در حالت بدون میرایی با مدل مور-کلمب ۱۷۳

۵-۷-۴- تحلیل دینامیکی سد در حالت اعمال میرایی با مدل مور-کلمب ۱۷۸

۵-۷-۵- تحلیل دینامیکی سد در حالت وجود میرایی و شرایط زهکشی شده و زهکشی نشده با مدل **Finn** ۱۸۲

۵-۸- خلاصه و جمع بندی فصل پنجم ۱۹۳

فصل ششم: نتیجه گیری و پیشنهادها

۶-۱- مقدمه ۱۹۵

۶-۲- نتیجه‌گیری ۱۹۶

۶-۳- پیشنهادها ۱۹۸

منابع و مراجع

منابع و مراجع ۱۹۹

چکیده انگلیسی ۲۰۶

فهرست موضوعی شکل‌ها

فصل اول

شکل (۱-۱) نمایی از سد **San Fernando** پس از لغزش بالادست سد در زلزله ۱۹۷۱ ..... ۶

شکل (۱-۲) نمایی از سد **Sheffield** پس از خرابی در زلزله ۱۹۲۵ ..... ۷

شکل (۱-۳) روش محاسبه پایداری شیب‌ها به روش شبه استاتیکی ۱۵

شکل (۱-۴) لرزه نگار **El Centro** در قاعده و تاج یک سد نمونه ۱۸

شکل (۱-۵) نیروهای موثر بر بلوک لغزنده ۲۰

شکل (۱-۶) انتگرال‌گیری ازتاریخچه شتاب نسبت به زمان برای تعیین مقادیر سرعت و جابجایی ۲۱

شکل (۱-۷) تعیین شتاب موثر برای پتانسیل لغزش توده ۲۱

شکل (۱-۸) تغییرات شتاب حداکثر مؤثر نرمال شده به شتاب تاج سد، با عمق گوه محتمل لغزش ۲۳

شکل (۱-۹) تغییر مکان‌های محاسبه شده برای سدهایی که در معرض زلزله‌ای به بزرگی ۶/۵ ریشتر قـرار گرفتـه و در اثر زلزله کاهش مقاومت پیدا نمی‌کنند ۲۳

شکل (۱-۱۰) روش سارما برای محاسبه ضریب شتاب بحرانی ۲۵

شکل (۱-۱۱) تحلیل به روش ویسکوالاستیک ۲۸

شکل (۱-۱۲) تغییرات مقادیر $2/41J_0 z^1$ بر حسب **z/H** ۳۳

شکل (۱-۱۳) تعیین شتاب زلزله بر اساس فاصله از مرکز و بزرگی..... ۳۵

شکل (۱-۱۴) نمودار هوسنر ۳۶

شکل (۱-۱۵) تعیین شتاب زلزله به روش **Seed & Martin** ۳۸

شکل (۱-۱۶) مود طبیعی شکل یک سد خاکی حاصل از تحلیل به روش اجزای محدود..... ۴۱

شکل (۱-۱۷) نتایج تحلیل دینامیکی سد خاکی علویان با روش اجزاء محدود ۴۲

شکل (۱-۱۸) تغییر شکل مقطع سد **Lower San Fernando** پس از وقوع زلزله..... ۴۳

شکل (۱-۱۹) منحنی‌های هم‌فشار آب منفذی در سد **Lower San Fernando** پس از وقوع زلزله..... ۴۳

شکل (۱-۲۰) فشار آب منفذی اولیه..... ۴۸

شکل (۱-۲۱) فازهای خاک غیر اشباع..... ۵۱

شکل (۱-۲۲) تغییرات حداکثر فشار منفذی در انتهای مرحله ساخت در مقابل رطوبت تراکم خاک ۵۶

شکل (۱-۲۳) تعیین فشار آب منفذی با استفاده از شبکه‌ی جریان ۵۸

فصل دوم

شکل (۲-۱) مراحل انجام محاسبات در نرم افزار **Flac** ۶۶

شکل (۲-۲) کاهش مدول برشی و میرایی نسبت به کرنش سیکلی برای مدل الاستوپلاستیک..... ۷۵

شکل (۲-۳) نمودارهای تغییرات میرایی و مدول برشی با کرنش برشی برای رس و ماسه. ۷۶

شکل (۲-۴) انواع شرایط مرزی و بارگذاری دینامیکی a) پایه منعطف b) پایه صلب ۸۰

شکل (۲-۵) مراحل تصحیح خط پایه ۸۳

شکل (۲-۶) مدل تحلیل لرزه‌ای با شبکه بندی میدان آزاد ۸۷

شکل (۲-۷) تغییرات نسبت میرایی بحرانی نرمال شده برحسب فرکانس زاویه‌ای..... ۸۸

شکل (۲-۸) نمودار طیف سرعت بر حسب فرکانس ۹۰
شکل (۲-۹) الگوریتم حل مسئله در نرم افزار **Flac 2d** ۹۲

فصل سوم

شکل (۳-۱) نمودار روابط داخلی متغیرها در مسائل مکانیک جامدات در حالت استاتیکی..... ۹۸
شکل (۳-۲) دایره مور و معیار مور-کلمب..... ۱۰۸
شکل (۳-۳) قانون جریان متحد برای مدل مور-کلمب ۱۰۹
شکل (۳-۴) نحوه تعیین ثوابت مدل بر اساس نتایج آزمایش سه محوری ۱۱۰
شکل (۳-۵) شبیه سازی آزمایش‌های سه محوری زهکشی شده جهت تعیین پارامترهای مور-کلمب..... ۱۱۱

فصل چهارم

شکل (۴-۱) نمایی از عملیات سد آزادی، تابستان ۸۸..... ۱۱۴
شکل (۴-۲) موقعیت رودخانه، مخزن و محل احداث سد. ۱۱۶
شکل (۴-۳)جانمایی مؤلفه‌های اصلی سد خاکی آزادی..... ۱۱۶
شکل (۴-۴) مقطع تیپ سد خاکی آزادی..... ۱۱۷
شکل (۴-۵) پروفیل زمین شناسی مهندسی محور سد خاکی آزادی. ۱۱۸
شکل (۴-۶) شتابنگاشت‌های مورد استفاده..... ۱۲۸
شکل (۴-۷) نمودار مؤلفه افقی طیف پاسخ ویژه ساختگاه برای سطح طراحی **DBL**..... ۱۲۹
شکل (۴-۸) نمودار مؤلفه افقی طیف پاسخ ویژه ساختگاه برای سطح طراحی **MDL**..... ۱۲۹

شکل (۴-۹) نمودار مؤلفه افقی طیف پاسخ ویژه ساختگاه برای سطح طراحی **MCL** ۱۳۰
شکل (۴-۱۰) نمودار شتابنگاشت زلزله طبس ۱۳۲
شکل (۴-۱۱) نمودار طیف پاسخ ویژه ساختگاه و طیف اصلاح نشده زلزله طبس برای سطح طراحی **DBL** ۱۳۲
شکل (۴-۱۲) مقایسه طیف پاسخ ویژه ساختگاه و طیف اصلاح شده زلزله طبس برای سطح طراحی **DBL** ۱۳۳
شکل (۴-۱۳) نمودار شتابنگاشت اصلاح شده زلزله طبس برای سطح طراحی **DBL** (افقی) ۱۳۳
شکل (۴-۱۴) مقایسه طیف پاسخ ویژه ساختگاه و طیف اصلاح نشده زلزله طبس برای سطح طراحی **MDL** ۱۳۴
شکل (۴-۱۵) مقایسه طیف پاسخ ویژه ساختگاه و طیف اصلاح شده زلزله طبس برای سطح طراحی **MDL** ۱۳۴
شکل (۴-۱۶) نمودار شتابنگاشت اصلاح شده زلزله طبس برای سطح طراحی **MDL** (افقی) ۱۳۴
شکل (۴-۱۷) مقایسه طیف پاسخ ویژه ساختگاه و طیف اصلاح نشده زلزله طبس برای سطح طراحی **MCL** ۱۳۵
شکل (۴-۱۸) مقایسه طیف پاسخ ویژه ساختگاه و طیف اصلاح شده زلزله طبس برای سطح طراحی **MCL** ۱۳۵
شکل (۴-۱۹) نمودار شتابنگاشت اصلاح شده زلزله طبس برای سطح طراحی **MCL** (افقی) ۱۳۵
شکل (۴-۲۰) نمودار شتابنگاشت مقیاس نشده زلزله منجیل ۱۳۶
شکل (۴-۲۱) مقایسه طیف پاسخ ویژه ساختگاه و طیف اصلاح نشده زلزله منجیل برای سطح طراحی **DBL** ۱۳۶
شکل (۴-۲۲) مقایسه طیف پاسخ ویژه ساختگاه و طیف اصلاح شده زلزله منجیل برای سطح طراحی **DBL** ۱۳۷
شکل (۴-۲۳) نمودار شتابنگاشت اصلاح شده زلزله منجیل برای سطح طراحی **DBL** (افقی) ۱۳۷
شکل (۴-۲۴) مقایسه طیف پاسخ ویژه ساختگاه و طیف اصلاح نشده زلزله منجیل برای سطح طراحی **MDL** ۱۳۷
شکل (۴-۲۵) مقایسه طیف پاسخ ویژه ساختگاه و طیف اصلاح شده زلزله منجیل برای سطح طراحی **MDL** ۱۳۸
شکل (۴-۲۶) نمودار شتابنگاشت اصلاح شده زلزله منجیل برای سطح طراحی **MDL** (افقی) ۱۳۸
شکل (۴-۲۷) مقایسه طیف پاسخ ویژه ساختگاه و طیف اصلاح نشده زلزله منجیل برای سطح طراحی **MCL** ۱۳۸
شکل (۴-۲۸) مقایسه طیف پاسخ ویژه ساختگاه و طیف اصلاح شده زلزله منجیل برای سطح طراحی **MCL** ۱۳۹
شکل (۴-۲۹) نمودار شتابنگاشت اصلاح شده زلزله منجیل برای سطح طراحی **MCL** (افقی) ۱۳۹

فصل پنجم

شکل (۵-۱) رابطه بین نسبت فرکانس طبیعی دو بعدی به سه بعدی سد و نسبت طول به ارتفاع سد ۱۴۲

شکل (۵-۲) تحلیل حساسیت تغییر مکان قائم در امتداد محور سد خاکی نسبت به تعداد لایه‌های مدل‌سازی ۱۴۳

شکل (۵-۳) تغییرات تغییر مکان قائم متوسط با تعداد لایه‌های مدل‌سازی ۱۴۴

شکل (۵-۴) جزئیات المان بندی سد آزادی و هسته آن در نرم افزار **FLAC** ۱۴۶

شکل (۵-۵) منحنی تغییرات مدول حجمی سیال منفذی در اثر افزایش درجه اشباع ۱۴۸

شکل (۵-۶) الگوی تغییر مکان قائم در انتهای ساخت درتحلیل تک لایه‌ای ۱۴۸

شکل (۵-۷) الگوی تغییر مکان قائم در انتهای ساخت درتحلیل چند لایه‌ای ۱۴۹

شکل (۵-۸) الگوی تغییر مکان افقی در انتهای ساخت درتحلیل چند لایه‌ای ۱۴۹

شکل (۵-۹) الگوی تغییر مکان افقی در انتهای ساخت درتحلیل تک لایه‌ای ۱۵۰

شکل (۵-۱۰) الگوی فشار آب منفذی در هسته در انتهای ساخت درتحلیل چند لایه‌ای ۱۵۰

شکل (۵-۱۱) الگوی فشار آب منفذی در هسته در انتهای ساخت درتحلیل تک لایه‌ای ۱۵۱

شکل (۵-۱۲) الگوی تنش قائم کل در انتهای ساخت درتحلیل چند لایه‌ای ۱۵۲

شکل (۵-۱۳) نمودار تغییرات تنش قائم کل در انتهای ساخت در ارتفاع هسته درتحلیل چند لایه‌ای ۱۵۲

شکل (۵-۱۴) الگوی تنش افقی کل در انتهای ساخت در تحلیل چند لایه‌ای ۱۵۳

شکل (۵-۱۵) نمودار تغییرات تنش افقی کل در ارتفاع هسته در انتهای ساخت درتحلیل چند لایه‌ای ۱۵۳

شکل (۵-۱۶) الگوی تنش مؤثر قائم در انتهای ساخت درتحلیل چند لایه‌ای ۱۵۴

شکل (۵-۱۷) نمودار تغییرات تنش مؤثر قائم در ارتفاع هسته، انتهای ساخت درتحلیل چند لایه‌ای ۱۵۴

شکل (۵-۱۸) نمودار توزیع تنش برشی در عرض ودر تراز میانی ارتفاع هسته و پوسته، در انتهای ساخت ۱۵۵

شکل (۵-۱۹) تاریخچه تغییرات فشارآب منفذی در نقاط مختلف هسته درانتهای ساخت درتحلیل چند لایه‌ای ۱۵۶

شکل (۵-۲۰) تغییرات فشار آب منفذی در ارتفاع هسته در انتهای ساخت ۱۵۶

شکل (۵-۲۱) تاریخچه تغییر مکان قائم در وسط هسته درتحلیل چند لایه‌ای ۱۵۷

شکل (۵-۲۲) تاریخچه تغییرات تغییر مکان افقی در نقاط مختلف هسته از ابتدا تا پایان مرحله ساخت در تحلیل چند لایه‌ای ۱۵۸

شکل (۵-۲۳) اعمال فشار مکانیکی ناشی از وزن آب در اثر آبگیری مخزن بر پوسته بالادست، و شرایط اولیه جهت برقراری تراوش دائم ۱۵۹

شکل (۵-۲۴) الگوی توزیع فشار آب منفذی در حالت تراوش دائم ۱۶۰

شکل (۵-۲۵) الگوی توزیع تنش قائم کل در حالت تراوش دائم ۱۶۱

شکل (۵-۲۶) الگوی توزیع تنش افقی کل در حالت تراوش دائم ۱۶۲

شکل (۵-۲۷) الگوی توزیع تنش قائم مؤثر در حالت تراوش دائم پس از اصلاح ۱۶۲

شکل (۵-۲۸) الگوی توزیع تنش افقی مؤثر در حالت تراوش دائم پس از اصلاح ۱۶۳

شکل (۵-۲۹) الگوی تغییر مکان قائم در حالت تراوش دائم ۱۶۴

شکل (۵-۳۰) الگوی تغییر مکان افقی در حالت تراوش دائم ۱۶۴

شکل (۵-۳۱) الگوی تغییر مکان افقی نقاط مختلف هسته از ابتدای ساخت تا پایان حالت تراوش دائم ۱۶۵

شکل (۵-۳۲) نمودار تغییر مکان افقی از بالادست تا پایین دست در ارتفاع ۱۵متری از کف هسته در حالت تراوش دائم ۱۶۵

شکل (۵-۳۳) تاریخچه تغییرات فشار آب منفذی در نقاط مختلف ارتفاع سد از شروع خاکریزی تا پایان تراوش دائم ۱۶۶

شکل (۵-۳۴) نمودار تغییر فشار آب منفذی از تراز۵۶/۵ تا تراز ۱۱۶ در میانه هسته سد در حالت تراوش دائم ۱۶۶

شکل (۵-۳۵) شرایط مرزی اعمال شده در تحلیل‌های دینامیکی ۱۶۸

شکل (۵-۳۶) شتاب نگاشت مقیاس شده زلزله طبس برای سطح لرزه‌ای **MCL** ۱۶۹

شکل (۵-۳۷) طیف فوریه فیلتر شده **(Fc=5)** شتاب نگاشت طبس برای سطح طراحی **MCL** ۱۷۰

شکل (۵-۳۸) تاریخچه تغییر مکان ناشی از زلزله طبس برای سطح طراحی **MCL** ۱۷۰

شکل (۵-۳۹) موج سرعت اعمالی با فرکانس پایین جهت صفر نمودن تغییر مکان پسماند ۱۷۱

شکل (۵-۴۰) تاریخچه سرعت اصلاح شده زلزله طبس برای سطح طراحی **MCL** (ورودی زلزله) ۱۷۱

شکل (۵-۴۱) تاریخچه سرعت در اثر زلزله طبس در تاج سد ۱۷۴

شکل (۵-۴۲) طیف فوریه جهت تعیین فرکانس غالب سد ۱۷۴

شکل (۵-۴۳) تغییر مکان قائم در تحلیل دینامیکی بدون میرایی با مدل مور-کلمب در اثر زلزله طبس ۱۷۵

شکل (۵-۴۴) تغییر مکان افقی در تحلیل دینامیکی بدون میرایی با مدل مور-کلمب در اثر زلزله طبس ۱۷۵

شکل (۵-۴۵) الگوی توزیع فشار آب منفذی درتحلیل دینامیکی بدون میرایی با مدل مور-کلمب در زلزله طبس ۱۷۶

شکل (۵-۴۶) تغییرات فشار آب منفذی در کف، وسط و بالای هسته با مدل مور-کلمب بدون میرایی در اثر زلزله طبس **MCL** ۱۷۷

شکل (۵-۴۷) تغییرات فشار آب منفذی در کف، وسط و بالای هسته با مدل مور-کلمب بدون میرایی در اثر زلزله طبس **MDL** ۱۷۷

شکل (۵-۴۸) الگوی توزیع فشار آب منفذی در حالت تراوش دائم (قبل از زلزله) ۱۷۸

شکل (۵-۴۹) الگوی توزیع فشار آب منفذی در هسته سد با مدل مور-کلمب و اعمال میرایی در اثر زلزله طبس **MCL** ۱۷۹

شکل (۵-۵۰) الگوی توزیع فشار آب منفذی در هسته سد با مدل مور-کلمب و اعمال میرایی در اثر زلزله منجیل **MCL** ۱۷۹

شکل (۵-۵۱) نمودار تغیرات فشار آب منفذی درکف، وسط و بالای هسته سد در حالت تراوش دائم (قبل از زلزله) ۱۸۰

شکل (۵-۵۲) تغییرات فشار آب منفذی در کف، وسط و بالای هسته با مدل مور-کلمب و اعمال میرایی در اثر زلزله منجیل **MCL** ۱۸۰

شکل (۵-۵۳) تغییرات فشار آب منفذی در کف، وسط و بالای هسته با مدل مور-کلمب و اعمال میرایی در اثر زلزله طبس **MCL** ۱۸۱

شکل (۵-۵۴) تغییر مکان قائم در تحلیل دینامیکی با میرایی و مدل مور-کلمب در اثر زلزله طبس**MCL** ۱۸۲

شکل (۵-۵۵) تغییر مکان افقی در تحلیل دینامیکی با میرایی و مدل مور-کلمب در اثر زلزله طبس**MCL** ۱۸۲

شکل (۵-۵۶) الگوی توزیع فشار آب منفذی درهسته سد با مدل **Finn** در حالت زهکشی نشده در اثر زلزله طبس **MCL** ۱۸۳

شکل (۵-۵۷) الگوی توزیع فشار آب منفذی درهسته سد با مدل **Finn** درحالت زهکشی شده در اثر زلزلـه طـبس **MCL** ۱۸۴

شکل (۵-۵۸) مقایسه تغییرات فشار آب منفذی درنقـاط کـف، وسـط و بـالای هـسته سـد در حالـت زهکـشی شـده و زهکشی نشده با مدل **Finn** در اثر زلزله طبس**MCL** ۱۸۵

شکل (۵-۵۹) مقایسه تغییرات فشار آب منفذی درنقاط کف، وسط و بالای هسته سد با مدل مور-کلمـب و **Finn** در اثـر زلزله طبس در حالت زهکشی نشده **MCL** ۱۸۵

شکل (۵-۶۰) مقایسه تغییرات فشار آب منفذی درنقـاط کـف، وسـط و بـالای هـسته سـد در حالـت زهکـشی شـده و زهکشی نشده با مدل **Finn** در اثر زلزله منجیل**MCL** ۱۸۶

شکل (۵-۶۱) مقایسه تغییرات فشار آب منفذی درنقاط کف، وسط و بالای هسته سد با مدل مور-کلمـب و **Finn** در اثـر زلزله منجیل در حالت زهکشی نشده **MCL** ۱۸۶

شکل (۵-۶۲) مقایسه تغییرات فشار آب منفذی درنقـاط کـف، وسـط و بـالای هـسته سـد در حالـت زهکـشی شـده و زهکشی نشده با مدل **Finn** در اثر زلزله طبس **MDL** ۱۸۷

شکل (۵-۶۳) مقایسه تغییرات فشار آب منفذی درنقاط کف، وسط و بالای هسته سد با مدل مور-کلمـب و **Finn** در اثـر زلزله طبس در حالت زهکشی نشده **MDL** ۱۸۷

شکل (۵-۶۴) مقایسه تغییرات فشار آب منفذی درنقـاط کـف، وسـط و بـالای هـسته سـد در حالـت زهکـشی شـده و زهکشی نشده با مدل **Finn** در اثر زلزله منجیل **MDL** ۱۸۸

شکل (۵-۶۵) مقایسه تغییرات فشار آب منفذی درنقاط کف، وسط و بالای هسته سد با مدل مور-کلمـب و **Finn** در اثـر زلزله منجیل در حالت زهکشی نشده **MDL** ۱۸۸

شکل (۵-۶۶) مقایسه تغییرات فشار آب منفذی درنقـاط کـف، وسـط و بـالای هـسته سـد در حالـت زهکـشی شـده و زهکشی نشده با مدل **Finn** در اثر زلزله طبس **DBL** ۱۸۹

شکل (۵-۶۷) مقایسه تغییرات فشار آب منفذی درنقاط کف، وسط و بالای هسته سد با مدل مور-کلمـب و **Finn** در اثـر زلزله طبس در حالت زهکشی نشده **DBL** ۱۸۹

شکل (۵-۶۸) مقایسه تغییرات فشار آب منفذی درنقـاط کـف، وسـط و بـالای هـسته سـد در حالـت زهکـشی شـده و زهکشی نشده با مدل **Finn** در اثر زلزله منجیل**DBL** ۱۹۰

شکل (۵-۶۹) مقایسه تغییرات فشار آب منفذی درنقاط کف، وسط و بالای هسته سد با مدل مـور-کلمـب و **Finn** در اثـر زلزله منجیل در حالت زهکشی نشده **DBL** ۱۹۰