بسم الله الرحمن الرحيم

دانشکده فنی و مهندسی–گروه مهندسی عمران

پایان نامه برای اخذ درجه کارشناسی ارشد در گرایش

سازه های هیدرولیکی

موضوع:

بررسی تاثیر جرم پی سدهای خاکی در تحلیل های دینامیکی براساس شتابنگاشت های ثبت شده زلزله (مطالعه موردی سد کرخه)

اساتید راهنما:

دکتر میرعلی محمدی **دکتر مسعود عامل سخی**

اساتید داور:

دکتر علیرضا ضیاء **دکتر سینا بشارت**

تنظیم و نگارش:

سید سالار عراقی

آذر ۱۳۹۱

حق چاپ و نشر برای دانشگاه ارومیه محفوظ است.

تقدیم به

پدر و مادر عزیزتر از جانم

که شمع وجودشان روشنی بخش

زندگیم است.

تقدیر و تشکر:

سپاس بیکران خداوند متعال را که بار دیگر فرصت اندیشیدن را به من داد و مرا در انجام و اتمام این رساله یاری نمود. در ابتدا با عنایت به کلام مولای متقیان علی(ع) که فرمود" هرکس حرفی به من بیاموزد مرا بنده خویش ساخته است" برخود لازم می دانم که از اساتید راهنمای ارجمندم آقایان دکتر میرعلی محمدی و دکتر مسعود عامل سخی که با راهنمایی های ارزنده شان صمیمانه مرا در پیشرفت و ارائه پایان نامه یاری کردند، تقدیر و تشکر نمایم.

سپس از اساتید محترم دانشگاه ارومیه، آقایان دکتر سینا بشارت به عنوان داور خارجی و دکتر علیرضا ضیاء به عنوان داور داخلی و همچنین دکتر رسول شعبانی نماینده تحصیلات تکمیلی که زحمت داوری این رساله را تقبل نمودند، تشکر و قدردانی می نمایم.

از دوستان عزیزم در رشته مهندسی سازه های هیدرولیکی و مهندسی ژئوتکنیک که همواره در انجام این پایان نامه مشوق من بودند، صمیمانه تشکر و قدردانی می نمایم و از درگاه خداوند متعال برای همگی آنها آرزوی موفقیت دارم.

از شرکت توسعه منابع آب و نیروی ایران و شرکت آب منطقه ای خوزستان به ویژه مجریان سد کرخه، آقایان مهندس فتاحی و مهندس افتخاری و مهندس یزدانی به دلیل همکاری در تهیه اطلاعات مورد نیاز سد کرخه نهایت سپاسگزاری را دارم.

فهرست مطالب

عنوان صفحه

فصل اول: مقدمه

۱-۱ مقدمه ۱

۱-۲ ضرورت انجام تحقیق ۲

۱-۳ اهداف تحقیق ۲

۱-۴ روش انجام تحقیق ۲

۱-۵ ساختار پایان نامه ۳

فصل دوم: تاریخچه استفاده از رکوردهای زلزله در بررسی رفتار دینامیکی سدها

۲-۱ مقدمه ۴

۲-۲ تأثیر زلزله بر سدهای خاکی ۵

۲-۳ انواع خسارت های ناشی از زلزله در سدهای خاکی ۶

۲-۴ تاریخچه روشهای عددی در بررسی رفتار لرزه ای سدها ۷

فصل سوم: روش‌های تحلیل پایداری سدهای خاکی در برابر زلزله

۳-۱ مقدمه ۱۶

۳-۲ روش‌های تحلیل پایداری سدهای خاکی ۱۶

۳-۲-۱ روش شبه استاتیکی ۱۷

۳-۲-۲ روش‌های آنالیز دینامیکی ساده شده (تغییر مکان) ۱۸

۳-۲-۲-۱ روش نیومارک ۱۹

۳-۲-۲-۲ روش سارما ۲۰

۳-۲-۲-۳ روش سید و مکدیسی ۲۱
۳-۲-۲-۴ روش باریکه های برشی ۲۲
۳-۲-۳ روش‌های آنالیز دینامیکی کامل ۲۲
۳-۲-۳-۱ روش تک فازی یا تنش کل ۲۳
۳-۲-۳-۲ آنالیز دو فاز ساده شده یا تنش موثر ساده شده..... ۲۳
۳-۲-۳-۳ روش کوپل دو فازی ۲۳
۳-۳ مبانی اندرکنش خاک-سازه ۲۴
۳-۳-۱ روش مستقیم ۲۴
۳-۳-۲ روش چند گامه ۲۵
۳-۳-۳ روش حرکت افزوده ۲۷
۳-۴ عوامل موثر در رفتار دینامیکی سدهای خاکی ۳۰
۳-۴-۱ ویژگی های زلزله اعمال شده ۳۰
۳-۴-۲ پارامترهای متداول در تشریح خصوصیات زلزله ۳۲
۳-۴-۲-۱ شتاب ماکزیمم ۳۲
۳-۴-۲-۲ محتوای فرکانس ۳۲
۳-۴-۲-۳ مدت زمان موثر زلزله ۳۴
۳-۴-۳ اثرات سه بعدی ناشی از شکل و هندسه دره ۳۵
۳-۴-۴ رفتار دینامیکی مصالح تشکیل دهنده بدنه سد ۳۷
۳-۴-۴-۱ رفتار تنش کرنش خاک تحت بارهای سیکلی ۳۸
۳-۴-۴-۲ شاخص‌های عمومی رفتار خاک ۴۰
۳-۴-۴-۳ مدل خطی معادل ۴۲
۳-۴-۴-۴ تعیین مدول برشی و نسبت میرایی وابسته به کرنش ۴۴

۳-۴-۴-۵ مدل‌های غیر خطی سیکلی ۴۴
۳-۴-۴-۶ مقایسه مدل‌های خطی معادل و غیرخطی ۴۷
۳-۴-۴-۷ مدل‌های رفتاری پیشرفته ۴۸
۳-۵ مبانی حوزه فرکانس ۴۸

فصل چهارم: معرفی نرم افزار مورد استفاده در تحقیق

۴-۱ مقدمه ۵۱
۴-۲ اطلاعات عمومی ۵۱
۴-۲-۱ واحدها و علامتهای قراردادی ۵۲
۴-۲-۲ اجرای فایل ورودی ۵۳
۴-۲-۳ اطلاعات ورودی لازم ۵۳
۴-۲-۴ قابلیت Help ۵۴
۴-۲-۵ اطلاعات ورودی قبل از پردازش ۵۴
۴-۳ دلایل استفاده از نرم افزار Plaxis در این تحقیق ۵۴
۴-۴ مراحل انجام یک پروژه توسط Plaxis ۵۵
۴-۴-۱ برنامه Input ۵۵
۴-۴-۱-۱ منوی Input ۵۵
۴-۴-۱-۲ خواندن پروژه موجود ۵۶
۴-۴-۱-۳ General Settings ۵۶
۴-۴-۱-۴ مدل ۵۷
۴-۴-۲ برنامه Calculation ۵۸
۴-۴-۲-۱ روش بار پله‌ای (مرحله‌ای) ۵۸

۴-۴-۲-۲ تحلیل پلاستیک ۶۰
۴-۴-۲-۳ تحلیل پلاستیک با تغییرشکل‌های بزرگ ۶۰
۴-۴-۲-۴ تحلیل تحکیم ۶۰
۴-۴-۲-۵ تحلیل دینامیکی ۶۰
۴-۴-۳ برنامه Output ۶۱
۴-۴-۴ برنامه Curves ۶۱
۴-۵ اجزاء موجود در نرم افزار ۶۳
۴-۵-۱ اجزاء مورد استفاده جهت مدلسازی خاک ۶۴
۴-۶ شرایط مرزی و بارها ۶۴
۴-۷ ویژگیهای مصالح ۶۴
۴-۷-۱ داده های پایه با مجموعه داده های مصالح ۶۵
۴-۸ ایجاد شبکه اجزاء محدود ۶۵
۴-۹ تعیین شرایط اولیه ۶۶
۴-۱۰ مرور کلی بر مدل های بکار رفته در نرم افزار Plaxis ۶۶
۴-۱۰-۱ مدل الاستیک خطی ۶۶
۴-۱۰-۲ مدل موهر – کولمب (MC) ۶۷
۴-۱۰-۳ مدل سنگ درزه دار(JR) ۶۷
۴-۱۰-۳ مدل خاک سخت شونده(HS) ۶۷
۴-۱۰-۵ مدل خاک نرم شونده(SS) ۶۸
۴-۱۰-۶ مدل خاک نرم توأم با خزش(SSC) ۶۸
۴-۱۱ بارگذاری دینامیکی ۶۹
۴-۱۱-۱ مدل سازی بارگذاری ۶۹

۴-۱۱-۲ فعال سازی بارهای دینامیکی ۶۹
۴-۱۱-۲-۱بار هارمونیک ۶۹
۴-۱۱-۲-۲ بارگذاری به صورت فایل ورودی ۶۹
۴-۱۱-۲-۲-۱ فایل با فرمت SMC (Strong motion CD-ROM) ۷۰
۴-۱۱-۲-۲-۲ فایل با فرمت ASCII ۷۰
۴-۱۱-۲-۳ به صورت Block load ۷۰
۴-۱۱-۳پارامترهای مورد نیاز جهت تحلیل دینامیکی ۷۰
۴-۱۱-۳-۱ گام های زمانی ۷۰
۴-۱۱-۳-۲ گام زمانی بحرانی ۷۱
۴-۱۱-۴ مدل سازی بار زلزله ۷۱

فصل پنجم: مدل سازی و نحوه انجام آنالیز دینامیکی سد (مطالعه موردی سد کرخه)

۵-۱ مقدمه ۷۲
۵-۲ معرفی سد کرخه ۷۲
۵-۳ نحوه مدل سازی. ۷۴
۵-۴ مشخصات مصالح..... ۷۵
۵-۵ شتاب نگاشت های ورودی..... ۷۶
۵-۶ روش تحقیق ۷۸
۵-۷ خروجی‌های آنالیز استاتیکی ۷۹
۵-۷-۱ نتایج آنالیز استاتیکی ۸۸
۵-۸ خروجی‌های آنالیز دینامیکی ۸۸
۵-۸-۱ خروجی‌های آنالیز دینامیکی در حوزه زمان ۸۹

۵-۸-۱-۱ خروجی‌های نرم افزار در محل تاج سد و برای محرک ورودی ۱۲ ثانیه در حوزه زمان ۸۹

۵-۸-۱-۲ خروجی‌های نرم افزار در محل تاج سد و برای محرک ورودی ۶ ثانیه در حوزه زمان ۹۳

۵-۸-۲ خروجی‌های آنالیز دینامیکی در حوزه فرکانس ۹۷

۵-۸-۲-۱ خروجی‌های نرم افزار در محل تاج سد و برای محرک ورودی ۱۲ ثانیه در حوزه فرکانس ۹۹

۵-۸-۲-۲ خروجی های نرم افزار در محل تاج سد و برای محرک ورودی ۶ ثانیه در حوزه فرکانس ۱۰۳

فصل ششم: نتیجه گیری و ارایه پیشنهادات

۶-۱ مقدمه ۱۱۰

۶-۲ پیشنهادات برای ادامه تحقیقات ۱۱۲

فهرست منابع

مراجع ۱۱۳

فهرست اشکال

صفحه

فصل سوم:

شکل (۳-۱) نیروهای شبه استاتیکی موثر بر گوه لغزشی ۱۷

شکل (۳-۲) بلوک لغزشی صلب بر روی سطح شیبدار (در روش نیومارک) ۱۹

شکل (۳-۳) مدل روش مستقیم اندرکنش خاک –سازه ۲۵

شکل (۳-۴) مدل تحلیل اندرکنش جنبشی، ب-مدل تحلیل اندرکنش اینرسی ۲۶

شکل (۳-۵) سد و پی زیر سد در مسأله اندرکنش سد-پی ۲۷

شکل (۳-۶) طیف دامنه فوریه برای شتابنگاشت زلزله های ناغان و طبس (به ترتیب از راست به چپ) ۳۴

شکل (۳-۷) مدت زمان مؤثر برای زلزله های مختلف ۳۴

شکل (۳-۸) اثر شکل دره بر پریود طبیعی سد ۳۶

شکل (۳-۹) پاسخ سد به تحریک هارمونیک الف) برای دره نیم استوانه ای، مقایسه تحلیل دو بعدی و سه بعدی، ب) اثر شکل دره بر ضریب تشدید تاج ۳۶

شکل (۳-۱۰) مقایسه توزیع ماکزیمم متغیرهای پاسخ لرزه‌ای سد در آنالیز دوبعدی و سه بعدی در ارتفاع سد ۳۷

شکل (۳-۱۱) توصیف اثرات کرنش برشی روی نسبت میرایی و مدول برشی ۳۹

شکل (۳-۱۲) تعریف مدول برشی G و نسبت میرایی ζ ۴۰

شکل (۳-۱۳) تغییر خصوصیات خاک با کرنش برشی و مدل رفتاری اضافه استفاده شده متناظر با آن ۴۱

شکل (۳-۱۴) تغییرات خصوصیات رفتاری خاک تحت بارهای سیکلی با افزایش سطح کرنش ۴۲

شکل (۳-۱۵) مدول برشی سکانت G_{sec} و تانژانت G_{tan} ۴۳

شکل (۳-۱۶) منحنی اصلی نشانگر مدول برشی ۴۴

شکل (۳-۱۷) منحنی باربرداری و بارگذاری بر پایه قوانین میسینگ ۴۵

فصل چهارم:

شکل (۴-۱) سیستم مختصات و مولفه های تنش مثبت ۵۲
شکل (۴-۲) اجرای فایل ورودی ۵۳
شکل (۴-۳) پنجره اصلی برنامه Input ۵۶
شکل (۴-۴) پنجره General Settings (قسمت Project) ۵۷
شکل (۴-۵) پنجره اصلی برنامه Calculations ۵۸
شکل (۴-۶) پنجره محاسبات (Parameters) ۵۹
شکل (۴-۷) نوار ابزار در پنجره اصلی برنامه Output ۶۱
شکل (۴-۸) نوار ابزار در پنجره اصلی برنامه Curves ۶۲
شکل (۴-۹) پنجره Curves generation ۶۲
شکل (۴-۱۰) المان های مورد استفاده در نرم افزار PLAXIS ۶۴
شکل(۴-۱۱) پنجره مشخصات مصالح ۶۵

فصل پنجم:

شکل (۵-۱) مقطع عرضی سد کرخه ۷۳
شکل (۵-۲) مقطع مش بندی شده سد ۷۴
شکل (۵-۳) موقعیت دستگاه‌های شتابنگار روی بدنه سد کرخه ۷۷
شکل (۵-۴) تاریخچه زمانی محرک ورودی ۱۲ ثانیه به سد ۷۷
شکل (۵-۵) تاریخچه زمانی محرک ورودی ۶ ثانیه به سد ۷۸
شکل (۵-۶) تاریخچه زمانی ۱۲ ثانیه شتابنگار شماره ۵ (در محل تاج سد) ۷۹
شکل (۵-۷) تاریخچه زمانی ۶ ثانیه شتابنگار شماره ۵ (در محل تاج سد) ۷۹

شکل (۵-۸) توزیع فشارهای آب حفره‌ای ۸۰

شکل (۵-۹) توزیع تنش موثر متوسط ۸۱

شکل (۵-۱۰) توزیع تنش موثر عمودی ۸۲

شکل (۵-۱۱) توزیع تنش موثر افقی ۸۳

شکل (۵-۱۲) توزیع تنش کل متوسط ۸۴

شکل (۵-۱۳) توزیع تنش کل قائم ۸۵

شکل (۵-۱۴) توزیع تنش کل افقی ۸۶

شکل (۵-۱۵) توزیع تنش موثر برشی ۸۷

اشکال ۵-۱۶ تا ۵-۲۶: خروجی‌های نرم افزار در محل تاج سد و برای محرک ورودی ۱۲ ثانیه در حوزه زمان ..... از ۸۹ تا ۹۳

اشکال ۵-۲۷ تا ۵-۳۷: خروجی‌های نرم افزار در محل تاج سد و برای محرک ورودی ۶ ثانیه در حوزه زمان ..... از ۹۳ تا ۹۷

شکل (۵-۳۸) طیف فوریه محرک ورودی ۱۲ ثانیه..... ۹۸

شکل (۵-۳۹) طیف فوریه محرک ورودی ۶ ثانیه ۹۸

شکل (۵-۴۰) طیف فوریه شتابنگاشت ثبت شده در تاج ۱۲ ثانیه ۹۸

شکل (۵-۴۱) طیف فوریه شتابنگاشت ثبت شده در تاج ۶ ثانیه ۹۹

اشکال ۵-۴۲ تا ۵-۵۲: خروجی‌های نرم افزار در محل تاج سد و برای محرک ورودی ۱۲ ثانیه در حوزه فرکانس.....از ۹۹ تا ۱۰۳

اشکال ۵-۵۳ تا ۵-۶۳: خروجی‌های نرم افزار در محل تاج سد و برای محرک ورودی ۶ ثانیه در حوزه فرکانس.....از ۱۰۳ تا ۱۰۷

شکل (۵-۶۴) نمودار شتاب‌های ماکزیمم به ازای درصد جرم‌های مختلف پی با اعمال رکورد ۱۲ ثانیه و در محل تاج ۱۰۷

شکل (۵-۶۵) نمودار شتاب‌های ماکزیمم به ازای درصد جرم‌های مختلف پی با اعمال رکورد ۶ ثانیه و در محل تاج ۱۰۸

فهرست جداول صفحه

فصل دوم:

جدول (۲-۱) خلاصه ای از اثرات زلزله بر روی سدهای خاکی ۵

فصل چهارم:

جدول (۴-۱) واحدها و علامتهای قراردادی مورد استفاده در Plaxis ۵۲

فصل پنجم:

جدول (۵-۱) پارامترهای مورد استفاده در مرحله تحلیل استاتیکی سد کرخه ۷۵

جدول (۵-۲) پارامترهای مورد استفاده در مرحله تحلیل دینامیکی سد کرخه ۷۶

چکیده

کشور ایران به عنوان یکی از مناطق زلزله‌خیز جهان همواره در طی سالیان گذشته در معرض زلزله‌های ویران‌کننده‌ای قرار داشته است. شرایط طبیعی و زمین شناسی ایران از نقطه نظر وقوع زلزله به طور جدی در دستور کار مهندسین و برنامه‌ریزان 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 ویژه‌ای برخوردار است. به همین منظور در این تحقیق سد خاکی-سنگریزه ای کرخه برای مطالعه رفتار دینامیکی سدها در برابر زلزله در نظر گرفته شده است.

هدف اصلی این تحقیق، بررسی اثر جرم پی در تحلیل‌های دینامیکی سدهای خاکی با استفاده از شتابنگاشت‌های ثبت شده زلزله بوده و به عنوان مطالعه موردی، سد کرخه انتخاب شده و مورد بررسی قرار گرفته است. پس از بررسی مختصری از مطالعات جهانی انجام شده در خصوص استفاده از شتابنگاشتهای زلزله در تحلیل رفتار دینامیکی سدهای خاکی، تمرکز اصلی بر روی اطلاعات موجود داخلی صورت پذیرفته است. در دسترس بودن شتابنگاشتهای ثبت شده زلزله بر روی سد کرخه، زمینه مناسبی را جهت نیل به این هدف فراهم نمود.

در این تحقیق با استفاده از شتابنگاشت ثبت شده در تکیه‌گاه چپ به عنوان محرک ورودی در نرم‌افزار، تحلیلهای عددی بدنه و پی سد کرخه در محدوده دو بعدی صورت پذیرفته است. تکیه اصلی تحقیق بر روی مطالعه محدودیت نرم‌افزارهای موجود مبتنی بر روش اجزای محدود بوده است که به منظور تحلیل مساله اندرکنش سد-پی از جرم پی صرفنظر می‌کنند. صرفنظر نمودن از جرم پی باعث تغییر در پاسخ دینامیکی سد خاکی شده و لذا این روش دارای پاسخ دقیقی نخواهد بود. بر این اساس در این تحقیق با در دسترس بودن شتابنگاشتهای ثبت شده در نقاط مختلف سد مذکور، تحلیلهای عددی با توجه به جرمهای مختلف برای پی سد توسط نرم‌افزار اجزاء محدود PLAXIS V8.50 انجام شده است. در ادامه، پاسخهای بدست آمده از تحلیلهای عددی، با پاسخهای ثبت شده مورد مقایسه قرار گرفته است و در خصوص میزان در نظرگیری جرم پی با استفاده از معیارهای مختلف بحث شده است. نتایج به دست آمده حاکی از آن است که صرفنظر نمودن از جرم پی (فرض مرسوم پی بدون جرم در نرم‌افزارهای مبتنی بر اجزاء محدود) الزاماً منجر به بهترین پاسخ دینامیکی برای سد خاکی نمی‌گردد. با توجه به معیارهای مختلف در نظر گرفته شده در این تحقیق و با در اختیار داشتن رکوردهای محرک ورودی ثبت شده و فرض رفتار خطی سد، به نظر می رسد پی با جرم زیر ۵۰ درصد (در حدود ۴۰-۳۰ درصد) نزدیکترین پاسخ به رفتار ثبت شده سد را به همراه داشته باشد.

کلید واژه ها: سد خاکی-اندرکنش سد و پی-حوزه زمان-حوزه فرکانس-تحلیل دینامیکی-جرم پی

فصل اول

ضرورت انجام، اهداف و ساختار تحقیق

۱–۱ مقدمه

به طور متوسط در هر ده سال، یک زلزله بزرگ بخش‌هایی از ایران را به ویرانی کشیده است. اگر تعداد زلزله‌های‌کوچکتر و خسارات ناشی از آنها را نیز در نظر بگیریم، خواهیم دید که زلزله و خسارات ناشی از آن، همواره به صورت تهدیدی جدی علیه آسایش و اقتصاد کشور ما بوده است. با توجه به استعداد لرزه‌خیزی بالا در بیشتر مناطق کشور ایران، ضرورت مطالعهٔ رفتار سدهای خاکی تحت بارگذاری زلزله مهم به نظر می‌آید.

با توجه به اینکه تعداد سدهای جدید از نوع خاکی، رو به افزایش است، لذا چندین دهه است که اطمینان از ایمنی این نوع سدها ذهن طراحان و محققین را به خود مشغول ساخته است. هر چند موضوع آسیب‌پذیری سدهای خاکی از زمان‌های قبل مورد توجه بوده است ولی پیچیدگی‌های رفتاری این‌گونه سازه‌های خاکی در شرایط مختلف هندسی و فیزیکی و نیز تفاوت ویژگی‌های زلزله موجب می‌شود که مطالعات دقیق‌تر با ابزار محاسباتی قویتر، نتایج جدید یا متفاوتی از وضعیت رفتاری بدنه سد را در مقابل زلزله نشان دهند. سیر پیشرفت روش‌های تحلیلی بررسی لرزه‌ای سدهای خاکی از ساده‌ترین روش به نام روش شبه استاتیکی آغاز شده و به تحلیل‌های پیچیده با مدل‌های رفتاری پیشرفته منتهی شده است.

مطالعه رفتار سدهای خاکی احداث شده در مناطق لرزه خیز نشان می‌دهد که برخی از آنها در اثر زلزله خسارات یا گسیختگی‌های موضعی را متحمل شده‌اند. تحلیل دقیق دینامیکی سدهای موجود و یا سدهای جدید در حال احداث، موضوعی پیچیده است که دلیل آن عوامل بسیاری است که بر پاسخ لرزه‌ای سدها اثر می‌گذارد که برخی از این عوامل خواص مصالح از جمله رفتار غیرالاستیک خاک در هنگام حرکات شدید زمین،[1] هندسه سد، شکل دره، بارگذاری دینامیکی و بحث اندرکنش سد-مخزن-پی[2] می‌باشد. معمولاً در مطالعه رفتار لرزه‌ای در

[1]-Strong Ground Motion

[2]-Foundation-Reservoir-Dam Interaction

سدهای خاکی از روشهای عددی استفاده می‌شود که بسته به دقت این روشها و همچنین شرایط ساخت و اجرای سد، رفتار پیش بینی شده در مقابل زمین لرزه با رفتار واقعی می‌تواند متفاوت باشد.

۱-۲ ضرورت انجام تحقیق

با استفاده از رکوردهای ثبت شده توسط شتابنگار واقع در تکیه‌گاه چپ، تحلیل‌های عددی بدنه و پی سد کرخه در محدوده دوبعدی صورت می‌پذیرد. تکیه اصلی این تحقیق، بر روی مطالعه محدودیت نرم‌افزارهای مبتنی بر روش اجزا محدود است که به منظور تحلیل مساله اندرکنش سد و پی از جرم پی صرف‌نظر می‌کنند. صرف‌نظرکردن از جرم پی، باعث تغییر در پاسخ دینامیکی سد خاکی شده و لذا این روش دارای پاسخ دقیق نخواهد بود. بر این اساس در این تحقیق با در دسترس بودن شتابنگاشت‌های ثبت شده در نقاط مختلف سد مذکور، جرم‌های مختلفی برای پی سد در نظر گرفته و تحلیل‌های عددی با پاسخ‌های ثبت شده مورد مقایسه قرار می‌گیرد. در خصوص میزان در نظرگیری جرم پی با استفاده از معیارهای مختلف بحث می‌شود. معمولاً مهندسین مشاور جهت تحلیل دینامیکی سدهای خاکی از نرم افزارهای مرسوم و از روش اجزاء محدود استفاده می‌کنند و در تحلیلها، فرض خطادار پی بدون جرم در نظر گرفته می‌شود. بر این اساس ضرورت بررسی دقیقتر مقدار خطا و نیز ارائه راه‌حلهای با خطای کمتر احساس می‌گردد که یکی از راه حلها می‌تواند استفاده از نتایج آزمایشهای ارتعاشی درجا باشد.

۱-۳ اهداف تحقیق

هدف اصلی تحقیق حاضر یافتن این مطلب است که چند درصد جرم پی در بحث اندرکنش سد-پی برای شتابنگاشت‌های زلزله‌ی مربوط به سد کرخه سهیم است و باید در تحلیلهای دینامیکی در نظر گرفته شود.

۱-۴ روش انجام تحقیق

برای رسیدن به هدف مورد نظر، شکل هندسی سد کرخه را در محیط PLAXIS V8.5 و با مدل الاستیک خطی[۱] ایجاد نموده و با توجه به مشخصات استاتیکی مصالح و نوع مش بندی، مدل را تحلیل استاتیکی می‌کنیم. سپس با وارد کردن مشخصات دینامیکی و نیز میرایی مصالح و با اعمال درصدهای مختلف جرم پی (۰٪-۱۰٪-۲۰٪-۳۰٪ تا۱۰۰٪)، تحلیل‌های دینامیکی را به صورت تاریخچه زمانی و با اعمال رکوردهای ثبت شده انجام داده و نتایج حاصل از تحلیل با رکوردهای ثبت شده در تاج سد، در حوزه های زمان و فرکانس مورد بررسی قرار

[۱] **بدین علت از مدل الاستیک خطی استفاده می‌کنیم که چون رکوردهای زلزله مورد بررسی، ضعیف بوده است و لذا خاک رفتار الاستیک داشته و وارد بخش غیرخطی نشده است.**

می‌گیرد. و مناسب‌ترین درصد جرم پی را که در آن خروجی‌های نرم افزار به رکوردهای ثبت شده واقعی مربوط به شتابنگار واقع در تاج سد نزدیکتر هست، تعیین می‌گردد.

۱–۵ ساختار پایان نامه

تحقیق حاضر در شش فصل و مشتمل بر مباحث زیر ارائه شده است:

- در فصل اول (فصل حاضر)، ضرورت انجام تحقیق، اهداف، روش انجام تحقیق و فصل‌بندی مراحل مختلف پایان نامه شرح داده می‌شود.
- در فصل دوم به مرور ادبیات فنی مطالعه تاریخچه استفاده از شتابنگاشتهای زلزله در تحلیل دینامیکی سدهای خاکی پرداخته شده است و به نمونه هایی از مطالعات صورت گرفته اشاره شده است.
- در فصل سوم به شرح انواع روش‌های تحلیل دینامیکی سدهای خاکی و بررسی ناتوانی نرم افزارهای المان محدود در دخالت جرم پی در تحلیل‌ها پرداخته شده است.
- در فصل چهارم به معرفی نرم افزار مورد استفاده و قابلیت های آن پرداخته شده است.
- در فصل پنجم ضمن معرفی مشخصات سد کرخه، به نحوه مدل سازی و نحوه انجام تحلیل استاتیکی و دینامیکی سد مذکور پرداخته شده است.
- در فصل ششم نتایج و تحلیلهای بدست آمده در فصل پنجم به اختصار و به صورت خلاصه، مورد جمع بندی قرار گرفته است و سپس پیشنهاداتی در زمینه ادامه روند تحقیقات ارائه گردیده است.

فصل دوم

ادبیات فنی و پیشینه پژوهش:

تاریخچه استفاده از رکوردهای زلزله در بررسی رفتار دینامیکی سدها

۲–۱ مقدمه

سدهای خاکی از قدیمی‌ترین سازه‌های ژئوتکنیکی هستند. قدیمی‌ترین سد خاکی در حدود ۶۰۰۰ سال پیش در حوا در اردن فعلی ساخته شده که دارای خاک با پوشش سنگی بوده است. سد خاکی کفاره واقع در کشور مصر بر روی رودخانه نیل، با قدمتی ۴۶۰۰ ساله، ۱۲ متر ارتفاع داشته که هنوز ویرانه‌های آن قابل مشاهده است. قدمت سدسازی در ایران به دوره هخامنشیان با قدمت ۲۰۰۰-۲۵۰۰ سال بر می‌گردد[وفائیان، ۱۳۸۴]. با پیشرفت علوم مکانیک خاک و مهندسی زلزله، سدهای خاکی عظیمی با روشهای نوین ساخته شده و در حال ساخت می‌باشد. با توجه به ابعاد و اهمیت چنین سدهایی، تامین پایداری آنها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. یکی از مواردی که برای پایداری سدهای خاکی باید تامین نمود، پایداری دینامیکی و به عبارت دیگر پایداری سدهای خاکی در برابر زلزله است. طرح دینامیکی سدهای خاکی و سنگریزه‌ای یکی از مشکل‌ترین و پیچیده‌ترین وظایف متخصصین ژئوتکنیک و زلزله است. علت این مسئله این است که مجموعه معلومات و روابط بین آنها در تحلیل این مسئله بسیار متنوع و متفاوت است. با توجه به وسعت کاربرد این نوع سدها و همچنین لرزه‌خیزی کشور ایران، برآورد ایمنی لرزه‌ای اینگونه سدها نقش ارزنده‌ای دارد.

در عکس‌العمل سدهای خاکی و سنگریزه‌ای در مقابل زلزله مسایل متعددی وجود دارد به طوری که معتبر بودن فرضیات صورت گرفته در روشهای محاسباتی تحلیلی و طراحی نیاز به اطلاعات کافی در مورد جنبه‌های مختلف رفتار سدهای خاکی در برابر زلزله دارد. به عنوان نمونه‌ای از این پیچیدگیها، می‌توان به رفتار سدهای خاکی در اثر زلزله‌های گذشته اشاره نمود به نحوی که بعضی از سدهای خاکی و سنگریزه‌ای در برابر زلزله‌های حتی شدید، سالم ماندند و برخی دیگر دچار صدماتی شدند و برخی نیز دچار تخریب کامل شدند.

۲-۲ تأثیر زلزله بر سدهای خاکی

هر چند موضوع آسیب‌پذیری سدهای خاکی در برابر زلزله از زمان‌های قبل مورد توجه بوده است، ولی چون تعداد اندکی از سدهای خاکی بزرگ در اثر زلزله آسیب دیده بودند، از این رو نسبت به ماهیت تأثیر زلزله بر سدهای خاکی به طور جدی و قطعی برخورد نمی‌شد و بسیاری از مهندسین بر این باور بودند که سدهای خاکی در برابر زلزله پایدارند.

اگرچه موارد جزئی از شکست سدهای خاکی ناشی از پدیده‌ی زلزله گزارش شده است، با این حال تعدادی از این موارد وجود دارند که خسارات وارده ناشی از زلزله بر آنها قطعی است. در جدول ۲-۱ خلاصه‌ای از خسارات زلزله‌های مهم بر روی سدهای خاکی موجود ارائه شده است. با دقت در مطالب جدول مشخص می‌شود که عمده خسارت وارده به وسیله زلزله بر روی سدهای خاکی، تغییرمکان‌های دائمی و روانگرایی در اثر افزایش فشار آب منفذی در حین زلزله است.

جدول ۲-۱ خلاصه‌ای از اثرات زلزله بر روی سدهای خاکی [Ambraseys, N.N., 1962] و [Makdisi, F.I., 1978]

نام سد	نام کشور	سال وقوع زلزله	نام زلزله	بزرگی زلزله (ریشتر)	شتاب زلزله (g)	نوع خسارت
Volcano Lake Dyke	آمریکا	۱۹۱۵	-	-	۰/۳	**روانگرایی پی و کاهش مقاومت آن**
Sheffield	آمریکا	۱۹۲۵	Santa Barbara	۶/۳	۰/۲	**روانگرا شدن ماسه لای دار در نزدیکی قاعده سد**
Hebgen	آمریکا	۱۹۵۹	West Yellowstone	۷/۶	۰/۷۰	**نشست و ترک خوردگی خاکریز**
Upper San Fernando	آمریکا	۱۹۷۱	San Fernando	۶/۶	۰/۵۵	**۱/۵ متر لغزش شیب پایین دست**
Lower San Fernando	آمریکا	۱۹۷۱	San Fernando	۶/۶	۰/۵۵	**لغزش عمده در شیب بالادست به دلیل روانگرایی**
Austrain	آمریکا	۱۹۸۹	Loma Prieta	-	۰/۶۴	**تغییرشکل و ترک های عمده در بدنه سد که سد را تقریباً در حالت گسیختگی قرار داده بود.**
Lower San Fernando	آمریکا	۱۹۹۴	Northridge	-	۰/۳۲	**تغییرشکل‌های گسترده در اثر روانگرایی، سد را از حالت سرویس‌دهی خارج کرد.**