بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه اراک

دانشکده فنی و مهندسی

کارشناسی ارشد مهندسی عمران

تحلیل دینامیکی دوبعدی سد خاکی شهید مدنی (ونیار)

پژوهشگر:

ندا جعفری

اساتید راهنما:

دکتر اصغر لادریان

دکتر مهدی درخشندی

زمستان ۹۱

تقدیم به:

پدرم که عالمانه به من آموخت تا چگونه در عرصه زندگی، ایستادگی را تجربه نمایم

به مادرم، دریای بی کران فداکاری و عشق، که وجودم برایش همه رنج بود و وجودش برایم همه مهر

و به:

همسرم، اسطوره زندگیم، پناه خستگیم و امید بودنم

تشکر و قدردانی

سپاس خدای را که سخنوران، در ستودن او بمانند و شمارندگان، شمردن نعمت های او ندانند و کوشندگان، حق او را گزاردن نتوانند.

از آنجایی که تجلیل از معلم، سپاس از انسانی است که هدف و غایت آفرینش را تأمین می کند و سلامت امانت هایی را که به دستش سپرده اند، تضمین؛ بر حسب وظیفه و از باب "من لم یشکر المنعم من المخلوقین لم یشکر الله عزّ و جلّ":

از اساتید با کمالات و شایسته؛ جناب آقایان دکتر لادریان و دکتر درخشندی که در کمال سعه صدر و فروتنی، از هیچ کمکی در این عرصه بر من دریغ ننمودند و زحمت راهنمایی این رساله را بر عهده گرفتند؛

و همچنین دوستان بسیار عزیزم سرکار خانم مهندس رجبی و خانم مهندس رحمتی که در کمال بردباری و با حسن خلق فراوانشان، مرا در به انجام رساندن این رساله یاری فرمودند؛

کمال تشکر و قدردانی را دارم.

چکیده

تحلیل دینامیکی دوبعدی سد خاکی شهید مدنی (ونیار)

توسط:

ندا جعفری

نگرانی از ایمنی سدها از دیرباز وجود داشته است. طراحی و اجرای سدها و ایمن بودن آنها در مقابل زمین‌لرزه‌ها از اهمیت بسیاری برخوردار است. با توجه به خطر لرزه‌خیزی بالا در ایران و وقوع متناوب زلزله‌های مخرب و ویرانگر در آن، بررسی رفتار دینامیکی سدهای خاکی و سنگریزه‌ای که بالاترین درصد تشکیل‌دهنده‌ی سدهای ایران می‌باشند و تحلیل پاسخ آنها به ارتعاشات لرزه‌ای بسیار حائز اهمیت است. بررسی دقیق پایداری سدهای خاکی در برابر زلزله، از پیچیده‌ترین مسائل در حوزه‌ی سازه‌های خاکی می‌باشد.

هدف از انجام این پروژه، تحلیل دینامیکی دو بعدی سد سنگریزه‌ای شهید مدنی (ونیار)، واقع در ۵ کیلومتری شمال شرق تبریز، تحت زلزله‌ی طرح منطقه می‌باشد. از آنجائیکه شهر تبریز در یکی از لرزه‌خیزترین مناطق کشور واقع است و نظر به اینکه تخریب این سد در اثر زلزله باعث ایجاد خسارات مادی و زیست محیطی زیادی می‌شود، لذا ارزیابی رفتار مکانیکی این سد حین زلزله از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در انجام این طرح با فرض گذشت مدت طولانی از ساخت سد، فرض می‌شود که حالت زه پایدار حین زلزله برقرار بوده و رفتار هسته سد حین زلزله بصورت تحکیم یافته زهکشی نشده می‌باشد.

در این پژوهش به تحلیل دینامیکی دوبعدی سد ونیار از طریق دو روش ساده و فزاینده پرداخته شده است که این تحلیل‌ها با استفاده از سه دسته شتاب‌نگاشت انجام گرفته است. در این رساله به بررسی نحوه‌ی توزیع تغییر مکان در دو راستای X و Y در مدت زمان زلزله‌های اعمالی، چگونگی توزیع شتاب در ارتفاع سد، بررسی تغییرات میزان تغییر شکل

ماندگار در سد با تغییرات ماکزیمم شتاب اعمالی به سد و نیز به بررسی تغییرات فشار آب منفذی در دو حالت استاتیکی و دینامیکی پرداخته شده است.

نتایج حاصل از تحلیل‌ها بیانگر آنست که ماکزیمم تغییرات جابجایی در نزدیکی تاج سد و در قسمت بالادست سد رخ خواهد داد و بررسی میزان تغییر شکل ماندگار سد که به عنوان معیار خسارت در این رساله در نظر گرفته شده نشان‌دهنده‌ی این موضوع می‌باشد که سد ونیار در برابر شتاب‌های اعمالی در سطح ایمنی مناسبی قرار دارد.

کلمات کلیدی:

تحلیل دینامیکی دوبعدی- سدخاکی- زلزله

فهرست مطالب

عنوان صفحه

فصل اول: مقدمه و کلیات _____ ۱
۱-۱- مقدمه _____ ۲
۱-۲- تعریف سدهای بزرگ _____ ۳
۱-۳- مزایا و محاسن سدهای خاکی _____ ۳
۱-۴- معایب سدهای خاکی _____ ۳
۱-۵- مهمترین علل رایج تخریب سدهای خاکی _____ ۴
۱-۶- ضرورت تحقیق _____ ۷
۱-۷- ساختار کلی پایان‌نامه _____ ۸

فصل دوم: مروری بر پژوهش‌های پیشین _____ ۹
۲-۱- مقدمه _____ ۱۰
۲-۲- مختصری درباره‌ی تحلیل دینامیکی _____ ۱۱
۲-۳- تاریخچه‌ای از تحلیل پایداری سدهای خاکی _____ ۱۳
۲-۳- ۱- روش‌های پایداری _____ ۱۴
۲-۳-۱-۱- روش شبه استاتیکی _____ ۱۵
۲-۳-۱-۲- روش نیومارک _____ ۱۹
۲-۳-۱-۳- روش اصلاح شده سید و مکدیسی _____ ۲۳
۲-۳-۱-۴- روش سارما _____ ۲۷
۲-۳-۲- تحلیل دینامیکی سدهای خاکی _____ ۳۲
۲-۳-۲-۱- روش‌های تحلیلی _____ ۳۳
۲-۳-۲-۱-۱- روش تیر برشی _____ ۳۳
۲-۳-۲-۱-۲- روش باریکه‌های برشی _____ ۳۶
۲-۳-۲-۲- روش‌های عددی _____ ۳۸
۲-۳-۳- برآورد تنش و تغییر شکل در سدهای خاکی _____ ۳۹
۲-۴- پارامترهای مؤثر در رفتار یک سد خاکی _____ ۴۲

۲-۴-۱- فشار همه جانبه _____ ۴۲
۲-۴-۲- غیر صلب بودن تکیه‌گاه‌ها و وجود آبرفت درون دره _____ ۴۵
۲-۴-۳- هندسه‌ی سه بعدی دره _____ ۴۶
۲-۴-۴- رفتار غیرالاستیک و غیرخطی مصالح سد _____ ۴۹
۲-۵-تحلیل دینامیکی فزاینده _____ ۵۱
۲-۵-۱- معرفی روش تحلیل دینامیکی فزاینده _____ ۵۱
۲-۵-۲- مفاهیم بنیادی روش تحلیل دینامیکی فزاینده _____ ۵۲
۲-۵-۲-۱- ضریب مقیاس _____ ۵۳
۲-۵-۲-۲- معیار شدت(IM) _____ ۵۳
۲-۵-۲-۳- معیار خسارت (DM) _____ ۵۴
۲-۵-۳- مشخصات عمومی نمودارهای IDA _____ ۵۵
۲-۵-۴- نمودارهای IDA برای چند شتاب‌نگاشت مختلف _____ ۵۷
۲-۵-۵- انتخاب شتاب‌نگاشت‌های مناسب زلزله جهت انجام تحلیل دینامیکی _____ ۶۱
۲-۵-۵-۱- نحوه‌ی دسترسی به شتاب‌نگاشت‌های ثبت شده _____ ۶۳
۲-۵-۵-۲- معیار انتخاب شتاب‌نگاشت‌ها _____ ۶۶
۲-۵-۵-۳- انتخاب شتاب‌نگاشت‌ها بر اساس پارامترهای لرزه‌ای _____ ۶۸
۲-۵-۵-۳-۱- معیار انتخاب بر اساس بزرگای زلزله (M) و فاصله‌ی منبع وقوع زلزله تا محل ساختگاه (R) _____ ۶۹
۲-۵-۵-۳-۲- طبقه بندی محل ساختگاه _____ ۷۴
۲-۶- کارایی برخی سدهای سنگریزه‌ای و خاکی طی زلزله _____ ۷۶
۲-۷- مروری بر مطالعات داخلی _____ ۷۷
۲-۸- خلاصه و جمع‌بندی فصل _____ ۸۵

فصل سوم: مدلسازی عددی _____ ۸۶
۳-۱- مقدمه _____ ۸۷
۳-۲- معرفی نرم‌افزار _____ ۸۷
۳-۲-۱- تحلیل تنش- تغییرشکل (SIGMA/W) _____ ۸۸
۳-۲-۲- تحلیل جریان و تراوش (SEEP/W) _____ ۸۸

۳-۲-۳- تحلیل دینامیکی (QUAKE/W) _____ ۸۸
۳-۲-۴- تحلیل پایداری شیب (SLOPE/W) _____ ۹۰
۳-۳- مدل‌های رفتاری مورد استفاده در نرم‌افزار جهت مدلسازی عددی _____ ۹۰
۳-۳-۱- مدل رفتاری الاستیک خطی (Linear Elastic) _____ ۹۱
۳-۳-۲- مدل رفتاری اشباع/غیراشباع (Saturated/Unsaturated)_____ ۹۱
۳-۳-۳- مدل رفتاری خطی معادل (Equivalent Linear) _____ ۹۱
۳-۳-۴- مدل موهر-کولمب (Mohr-Coulomb) _____ ۹۱
۳-۴- معرفی سد خاکی مورد تحلیل _____ ۹۳
۳-۴-۱- معرفی سد شهید مدنی (ونیار) _____ ۹۳
۳-۴-۲- اهداف طرح_____ ۹۳
۳-۴-۳- تأثیرات اقتصادی- اجتماعی توسعه‌ی دشت تبریز _____ ۹۴
۳-۴-۴- گسل تبریز _____ ۹۴
۳-۴-۵- مشخصات هندسی سد _____ ۹۵
۳-۵- مدلسازی عددی _____ ۹۸
۳-۵-۱- تکنیک‌های المان‌بندی _____ ۹۸
۳-۵-۱-۱- انطباق المان و مش(Element and mesh compability) _____ ۹۹
۳-۵-۱-۲- شکل المان‌ها _____ ۱۰۰
۳-۵-۲- تعیین محدوده هندسی سد جهت مدلسازی عددی _____ ۱۰۱
۳-۵-۳- معرفی مدل به نرم‌افزار _____ ۱۰۲
۳-۵-۳-۱- مدلسازی در برنامه‌ی SIGMA/W_____ ۱۰۲
۳-۵-۳-۲- مدلسازی در برنامه‌ی SEEP/W _____ ۱۰۷
۳-۵-۳-۳- تحلیل دینامیکی سدQUAKE/W _____ ۱۰۹
۳-۵-۳-۴- مدلسازی در SLOPE/W_____ ۱۱۴

فصل چهارم: تحلیل دینامیکی_____ ۱۱۷
۴-۱- مقدمه _____ ۱۱۸
۴-۲- شتاب‌نگاشت‌های مورد استفاده در رساله_____ ۱۱۸
۴-۲- ۱- مشخصات رکوردهای انتخابی دسته‌ی اول _____ ۱۱۹

۴-۲-۲- مشخصات رکوردهای انتخابی دسته‌ی دوم _____ ۱۲۱
۴-۲-۳- مشخصات رکوردهای انتخابی دسته‌ی سوم_____ ۱۲۳
۴-۳-انطباق شتاب‌نگاشت‌های دسته‌ی دوم بر طیف طرح آیین‌نامهUBC97 _____ ۱۲۵
۴-۴- تحلیل دینامیکی معمولی _____ ۱۳۰
۴-۴-۱- توزیع تغییر مکان‌ها _____ ۱۳۱
۴-۴-۲- بررسی تغییرات شتاب زلزله در ارتفاع سد _____ ۱۳۳
۴-۴-۳- بررسی تغییرات فشار آب حفره‌ای در ارتفاع هسته _____ ۱۳۵
۴-۴-۴- بحث در مورد نتایج تحلیل دینامیکی معمولی _____ ۱۳۶
۴-۴-۴-۱- نحوه‌ی توزیع تغییرمکان‌ها _____ ۱۳۶
۴-۴-۴-۲- بزرگنمایی (Amplification) _____ ۱۳۷
۴-۴-۴-۳- تغییرات فشار آب منفذی _____ ۱۳۷
۴-۵- تحلیل دینامیکی فزاینده بر روی مدل عددی _____ ۱۳۷
۴-۵-۱- انتخاب معیار شدت زلزله (IM) _____ ۱۳۷
۴-۵-۲- انتخاب معیار خسارت زلزله (DM) _____ ۱۳۸
۴-۵-۳- تعیین زمان تناوب طبیعی سد ونیار _____ ۱۳۹
۴-۵-۳-۱- استفاده از مفهوم پدیده تشدید _____ ۱۳۹
۴-۵-۳-۲- تحلیل مودال _____ ۱۴۱
۴-۵-۴- ترسیم نمودار IDA برای یک شتاب‌نگاشت ورودی_____ ۱۴۲
۴-۵-۵- ارائه‌ی نتایج حاصل از تحلیل دینامیکی فزاینده براساس معیار شدت $(S_a(T_1)$ _ ۱۴۴
۴-۵-۶- بحث در مورد نتایج تحلیل دینامیکی فزاینده _____ ۱۴۸
۴-۶- خلاصه و جمع‌بندی فصل_____ ۱۴۹

فصل پنجم: ارائه‌ی نتایج و پیشنهادات _____ ۱۵۰
۵-۱- مقدمه _____ ۱۵۱
۵-۲- نتیجه‌گیری _____ ۱۵۱
۵-۳- ارائه‌ی پیشنهادات _____ ۱۵۲

فهرست منابع _____ ۱۵۳

فهرست جداول

عنوان **صفحه**

جدول ۲- ۱- مقادیر بدست آمده μ در آزمایش‌های مختلف[۳] ۴۳
جدول ۲- ۲- نتایج برنامه در تحلیل دینامیکی تحت بار زلزله(لوما)[۳۷] ۸۴
جدول ۲- ۳- نتایج برنامه در تحلیل دینامیکی تحت بار زلزله(السنترو)[۳۷] ۸۴

جدول ۳- ۱- مشخصات فنی سد ونیار[۴۰] ۹۶
جدول ۳- ۲- خصوصیات مصالح مورد استفاده در تحلیل لایه به لایه سد خاکی ونیار[۴۰] ۱۰۳
جدول ۳- ۳- خصوصیات مصالح مورد استفاده در تحلیل دینامیکی سد خاکی ونیار[۴۰] ۱۰۹

جدول ۴- ۱- بهینه‌ترین حرکت قوی زمین برای محدوده‌های مختلف زمان تناوب[۸۲] ۱۱۹
جدول ۴- ۲- مشخصات رکوردهای انتخابی دسته‌ی اول ۱۲۰
جدول ۴- ۳- مشخصات رکوردهای انتخابی دسته‌ی دوم ۱۲۱
جدول ۴- ۴- مشخصات رکوردهای انتخابی دسته‌ی سوم[۴۴] ۱۲۳
جدول ۴- ۵- توزیع تغییر مکان‌ها ۱۳۳
جدول ۴- ۶- تغییرات شتاب زلزله در ارتفاع سد ۱۳۵
جدول ۴- ۷- نمایش حداکثر تغییر مکان‌های سد ونیار ۱۳۷
جدول ۴- ۸- نتایج بدست آمده از تحلیل مودال سد ۱۴۲
جدول ۴- ۹- نتایج حاصل از تحلیل سد ونیار در برابر شتاب‌نگاشت‌های مقیاس شده شتاب‌نگاشت واقعی شماره ۵ در شدت‌های مختلف ۱۴۳

فهرست اشکال

عنوان **صفحه**

شکل۲-۱- تغییرشکل‌های مختلف سدهای خاکی در برابر زلزله[۷]_____۱۳
شکل۲-۲- مفهوم ضریب لرزه‌ای متوسط[۷]_____۱۶
شکل۲-۳-رابطه‌ی میان نیروی لرزه‌ای متوسط و پریود پایه خاکریز همگن تحت زلزله ElCentro [۹] _____۱۸
شکل۲-۴- انتگرال‌گیری از پیشینه زمانی‌شتاب‌مؤثرجهت تعیین سرعت وتغییر مکان[۱۰] _۲۰
شکل۲-۵- تغییر شتاب مؤثر حداکثر K_{max} با عمق توده لغزش بالقوه[۱۰] _____۲۱
شکل۲-۶- تغییر مکان ماندگار u در برابر N/A، بر پایه ۳۴۸ مولفه افقی و ۶ شتاب ساختگی[۱۰] _____۲۱
شکل۲-۷- تغییر مکان‌های محاسبه شده در سدهای خاکی با افت مقاومت اندک یا برابر صفر در اثرتغییر شکل‌های القا شده در اثر زلزله‌های با بزرگی ۶/۵ [۱۱] _____۲۲
شکل۲-۸- مقطع یک سد جهت تعیین بیشینه شتاب تاج [۸] _____۲۴
شکل۲-۹- نمودار تغییرات G/Gmax و میرائی با کرنش برشی[۸] _____۲۵
شکل۲-۱۰- نمودار جهت تعیین مقدار $\frac{K_h(max)g}{[\ddot{u}_0^a]max}$ [۸] _____۲۶
شکل۲-۱۱- نمودار جهت تعیین مقدار تغییر مکان u [۸] _____۲۷
شکل۲- ۱۲- شکل سطح لغزش در روش سارما [۹] _____۲۹
شکل۲- ۱۳- نمودار تغییرات ضریب پاسخ لرزه‌ای[۹] _____۳۰
شکل۲- ۱۴- نمودار تعیین تغییر مکان به روش پیشنهادی سارما [۹] _____۳۱
شکل۲- ۱۵- نمایش مقطع یک سد خاکی که بصورت مثلثی فرض شده است.[۱۰] _____۳۴
شکل۲- ۱۶- اثر پارامتر m بر پاسخ تاج سدبه تحریک پایه هارمونیک(تکیه گاه صلب)[۳] __۴۳
شکل۲- ۱۷- اثر پارامتر بر توزیع ماکزیمم متغیرهای پاسخ لرزه‌ای در ارتفاع سد [۳] _____۴۵
شکل۲- ۱۸- اثر صلبیت تکیه گاه بر پاسخ تاج سد به تحریک پایه هارمونیک[۳] _____۴۶
شکل۲- ۱۹- اثر شکل دره بر پریود طبیعی سد[۳] _____۴۷
شکل۲- ۲۰- پاسخ سد به تحریک هارمونیک (الف) برای دره نیمه استوانه ای ، مقایسه‌تحلیل دو بعدی و سه بعدی (ب) اثر شکل دره بر ضریب تشدید تاج[۳] _____۴۸

شکل۲- ۲۱- مقایسه توزیع ماکزیمم متغیرهای پاسخ لرزه‌ای سد در آنالیز دو بعدی و سه بعدی در ارتفاع سد[۳] _____۴۹
شکل۲- ۲۲- اثر درجه غیر خطی بودن مصالح بر پاسخ لرزه‌ای سد[۳]_____۵۰
شکل۲- ۲۳- نمودارهای IDA برای یک ساختمان فولادی ۵ طبقه $T_1 = 1.8\,s$ در برابر ۴ شتاب‌نگاشت مختلف[۲۳]_____۵۶
شکل۲- ۲۴- پاسخ یک سازه با T=1 ثانیه. سازه در برابر زلزله قوی‌تر زودتر به حالت تسلیم می‌رسد و در نهایت پاسخ کمتری را از خود نشان می‌دهد[۲۳] _____۵۸
شکل۲- ۲۵- نمودارهای IDA بدست آمده از تحلیل ساختمان ۵ طبقه فولادی با زمان تناوب طبیعی ۱٫۸ ثانیه در برابر ۳۰ شتاب‌نگاشت ورودی[۲۳] _____۶۰
شکل۲- ۲۶- نمودارهای معرف میانه، ۱۶٪ و ۸۴٪ برای نمودارهای حاصل از تحلیل دینامیکی فزاینده در شکل (۲-۲۵) در مقیاس لگاریتمی [۲۳] _____۶۰
شکل۲- ۲۷- شتاب‌نگاشت‌های مصنوعی تولید شده توسط برنامه SIMQKE منطبق بر طیف طرح آیین‌نامه فرانسه برای خاک نوع S_1 [۲۵]_____۶۲
شکل۲- ۲۸-گستردگی بانک اطلاعاتی زمین‌لرزه‌های اروپا بر اساس بزرگی، فاصله و طبقه‌بندی محل[۲۵] _____۶۵
شکل۲- ۲۹- توزیع شتابنگاشت‌ها در بانک اطلاعتی PEER با توجه به بزرگی، فاصله و طبقه‌بندی محل وقوع زلزله [۳۹] _____۶۶
شکل۲- ۳۰- روش‌های مختلف انتخاب شتاب‌نگاشت مناسب محل ساختگاه[۳۹] _____۶۸
شکل۲- ۳۱- طیف پاسخ (همسان شده در ۰٫۲ ثانیه) شتاب‌نگاشت‌های ثبت شده از بستر سنگی و به فاصله ۱۰ کیلومتر از مرکز زلزله با بزرگای ۵٫۵، ۶ [۴۰] _____۷۱
شکل۲- ۳۲- طیف پاسخ (همسان شده در ۰٫۲ ثانیه) شتاب‌نگاشت‌های ثبت شده از بستر سنگی و به فواصل ۵، ۲۰ و ۵۰ کیلومتر از مرکز زلزله با بزرگای ۷ [۴۰]_____۷۲
شکل۲- ۳۳- نسبت طیف شتاب برای زلزله‌های با بزرگای ۷ در فواصل ۵ و ۵۰ کیلومتری از منبع زلزله بدست آمده از شکل (۲-۳۲) [۳۹]_____۷۳
شکل۲- ۳۴- رابطه تجربی میان مدت زمان مؤثر زلزله و فاصله [۴۰] _____۷۴
شکل۲- ۳۵- تغییرات درصد نشست تاج نسبت به تغییرات ارتفاع از ۵۰ تا ۱۵۰ متر[۳۲]___۷۹
شکل۲- ۳۶- تغییرات درصد جابجایی افقی تاج نسبت به تغییرات ارتفاع سد از ۵۰ تا ۱۵۰ متر[۳۲] _____۸۰

شکل۲- ۳۷- تغییرات بیشینه شتاب افقی تاج نسبت به تغییرات ارتفاع سد از ۵۰ تا ۱۵۰ متر[۳۲] ۸۰
شکل۲- ۳۸- هندسه‌ی سد خاکی نمونه[۳۵] ۸۲

شکل ۳-۱- نمایش گرافیکی معادله‌ی مقاومت برشی موهر-کولمب[۳۸] ۹۲
شکل ۳- ۲- پوش گسیختگی موهر-کولمب[۳۸] ۹۲
شکل ۳- ۳- پوش مقاومت زهکشی شده[۳۸] ۹۲
شکل ۳- ۴- موقعیت گسل تبریز ۹۵
شکل ۳- ۵- بزرگترین مقطع سد ونیار (مقطع c-c)[۳۸] ۹۷
شکل ۳- ۶- المان‌های مثلثی و مربعی به همراه گره‌های اصلی در گوشه‌ی المان‌ها. تغییرات رفتار المان‌ها به صورت خطی می‌باشد.[۴۱] ۹۸
شکل ۳- ۷- عدم اتصال المان‌ها به یکدیگر و رفتار مجزا از هم[۴۱] ۹۹
شکل ۳- ۸- انطباق مناسب میان گروه المان‌ها[۴۱] ۹۹
شکل ۳- ۹- مقایسه‌ی شکل‌های مختلف المان‌ها[۴۱] ۱۰۰
شکل ۳- ۱۰- تغییرات پاسخ دینامیکی تاج سد در برابر تغییرات امتداد مدل از طرفین مدل ۱۰۱
شکل ۳- ۱۱- تعیین واحد استفاده شده در برنامه و ضریب مقیاس ۱۰۲
شکل ۳- ۱۲- اختصاص خصوصیات مصالح ۱۰۴
شکل ۳- ۱۳- هندسه‌ی سد ونیار ۱۰۴
شکل ۳-۱۴- هندسه‌ی سد به همراه مش‌بندی ۱۰۵
شکل ۳- ۱۵- اعمال شرایط مرزی ۱۰۵
شکل ۳- ۱۶- تغییر شکل افقی (متر) ۱۰۶
شکل ۳- ۱۷- تغییرشکل قائم (متر) ۱۰۶
شکل ۳- ۱۸- تنش مؤثر افقی (کیلوپاسکال) ۱۰۶
شکل ۳- ۱۹- تنش مؤثر قائم (کیلوپاسکال) ۱۰۶
شکل ۳- ۲۰- نمایش توزیع فشار آب حفره‌ای ۱۰۷
شکل ۳- ۲۱- تعیین مدل رفتاری و اختصاص توابع به مصالح ۱۰۸
شکل ۳- ۲۲- اعمال شرایط مرزی ۱۰۸

شکل ۳- ۲۳- نمایش خطوط هم‌پتانسیل _____ ۱۰۹
شکل ۳- ۲۴- نمایش خطوط جریان _____ ۱۰۹
شکل ۳- ۲۵- معرفی شتاب‌نگاشت ورودی_____ ۱۱۰
شکل ۳- ۲۶- نمودار شتاب‌نگاشت ورودی _____ ۱۱۰
شکل ۳- ۲۷- تغییرات مدول برشی و درصد میرایی برحسب کرنش برشی سیکلی _____ ۱۱۲
شکل ۳- ۲۸- اعمال شرایط مرزی _____ ۱۱۳
شکل ۳- ۲۹- نمایش نشست بدنه سد _____ ۱۱۳
شکل ۳- ۳۰- معرفی خصوصیات مصالح _____ ۱۱۵
شکل ۳- ۳۱- نمایش سطوح لغزش شیب بالادست_____ ۱۱۶
شکل ۳- ۳۲- موقعیت سطح لغزش واقع در بالادست سد _____ ۱۱۶

شکل ۴- ۱- شتاب‌نگاشت‌های استفاده شده به عنوان تحریک ورودی(دسته‌ی اول) _____ ۱۲۰
شکل ۴- ۲- طیف پاسخ رکوردهای انتخابی(دسته‌ی اول) _____ ۱۲۱
شکل ۴- ۳- شتاب‌نگاشت‌های استفاده شده به عنوان تحریک ورودی(دسته‌ی دوم)_____ ۱۲۲
شکل ۴- ۴- طیف پاسخ رکوردهای انتخابی(دسته‌ی دوم)_____ ۱۲۳
شکل ۴- ۵- شتاب‌نگاشت‌های استفاده شده به عنوان تحریک ورودی(دسته‌ی سوم) ____ ۱۲۴
شکل ۴- ۶- طیف پاسخ رکوردهای انتخابی(دسته‌ی سوم) _____ ۱۲۵
شکل ۴- ۷- طیف طرح آیین‌نامه UBC97 _____ ۱۲۵
شکل ۴- ۸- طیف طرح آیین نامه مورد استفاده _____ ۱۲۶
شکل ۴- ۹- محاسبه نسبت شتاب طیفی طیف طرح به شتاب طیفی شتاب‌نگاشت اولیه در هر زمان تناوب_____ ۱۲۷
شکل ۴- ۱۰- شتاب‌نگاشت‌های مقیاس شده به عنوان تحریک ورودی _____ ۱۲۹
شکل۴- ۱۱- طیف پاسخ شتاب‌نگاشت واقعی و منطبق شده بر طیف طرح آیین‌نامه UBC97 برای شتاب‌نگاشت Kobe-Japan _____ ۱۳۰
شکل ۴- ۱۲- تغییرات ضریب اطمینان گوه‌ی محتمل گسیختگی در بالادست سد در اثر بار دینامیکی شتاب‌نگاشت ورودی_____ ۱۳۰
شکل ۴- ۱۳- تغییرمکان ماندگار گوه گسیختگی در بالادست سد بر حسب زمان زلزله ورودی _____ ۱۳۱

شکل ۴- ۱۴- تاریخچه زمانی تغییرشکل قائم در تاج سد (شتاب‌نگاشت‌های اصلی) _____۱۳۱
شکل۴- ۱۵- تاریخچه زمانی تغییرشکل قائم درتاج سد(شتاب‌نگاشت‌های مقیاس شده) _۱۳۲
شکل ۴- ۱۶- تاریخچه زمانی تغییرشکل افقی در پوسته‌ی بالادست (شتاب‌نگاشت‌های اصلی) _____۱۳۲
شکل ۴- ۱۷- تاریخچه زمانی تغییرشکل افقی در پوسته‌ی بالادست (شتاب‌نگاشت‌های مقیاس شده) _____۱۳۳
شکل ۴- ۱۸- رکورد اعمالی به کف بستر سنگی (max acc=0.83607g)_____۱۳۴
شکل ۴- ۱۹- رکورد محاسبه شده در کف پی سد (max acc=1.183g) _____۱۳۴
شکل ۴- ۲۰- رکورد محاسبه شده در تاج سد (max acc=1.3575g)_____۱۳۴
شکل۴-۲۱- تغییرات فشار آب منفذی در ارتفاع های مختلف هسته سد در طی زلزله ی اعمالی_____۱۳۶
شکل ۴- ۲۲- تغییرات فشار منفذی در حالت استاتیکی و دینامیکی در ارتفاع هسته____۱۳۶
شکل ۴- ۲۳- پاسخ تغییر مکان تاج سد در برابر بار سینوسی با زمان تناوب غالب 1.3s _۱۴۰
شکل ۴- ۲۴- پاسخ تغییر مکان تاج سد در برابر بار سینوسی با زمان تناوب غالب 1.4s _۱۴۰
شکل ۴- ۲۵- پاسخ تغییر مکان تاج سددر برابر بار سینوسی بازمان تناوب غالب 1.48s___۱۴۰
شکل ۴- ۲۶- پاسخ تغییر مکان تاج سددر برابر بار سینوسی بازمان تناوب غالب 1.57s___۱۴۱
شکل ۴- ۲۷- پاسخ تغییر مکان تاج سددر برابر بار سینوسی بازمان تناوب غالب 1.65s___۱۴۱
شکل ۴- ۲۸- سد مدل شده به همراه مش بندی در برنامه ETABS _____۱۴۲
شکل ۴- ۲۹- طیف پاسخ شتاب‌نگاشت شماره ۵_____۱۴۳
شکل ۴- ۳۰- نمودار IDA منتسب به شتاب‌نگاشت شماره ۵_____۱۴۴
شکل ۴- ۳۱- نمودارهای IDA مربوط به تحلیل سد ونیار در برابر ۸ شتاب‌نگاشت واقعی براساس معیار شدت $S_a(T_1)$ _____۱۴۵
شکل ۴- ۳۲- نمودارهای IDA مربوط به تحلیل سد ونیار در برابر ۷ شتاب‌نگاشت منطبق شده بر طیف طرح آیین‌نامه‌ی UBC97 براساس معیار شدت $S_a(T_1)$ _____۱۴۵
شکل ۴- ۳۳- منحنی‌های F16، F50 و F84 مربوط به تحلیل سد ونیار در برابر ۸ شتاب‌نگاشت واقعی براساس معیار شدت $S_a(T_1)$ _____۱۴۶
شکل ۴- ۳۴- منحنی‌های F16، F50 و F84 مربوط به تحلیل سد ونیار در برابر ۷ شتاب‌نگاشت منطبق شده بر طیف طرح آیین‌نامه‌ی UBC براساس معیار شدت $S_a(T_1)$ _____۱۴۶

شکل۴- ۳۵- مقایسه منحنی های منتسب به F16، F50 و F84 بدست آمده از تحلیل دینامیکی فزاینده سد ونیار در برابر شتاب‌نگاشت‌های واقعی و منطبق شده بر طیف طرح آیین‌نامه‌ی UBC97 بر اساس معیار شدت($S_a(T_1)$ _____ ۱۴۷
شکل ۴- ۶۳- مقایسه تغییرات پراکندگی معیار شدت در تغییر مکان‌های ماندگار مختلف برای دو دسته شتاب‌نگاشت واقعی و منطبق بر طیف طرح آیین‌نامه‌ی UBC97 براساس معیار شدت $S_a(T_1)$ _____ ۱۴۷

فصل اول: مقدمه و کلیات

۱-۱- مقدمه

تأمین آب مورد نیاز انسان، امروزه یکی از مشکلات جوامع انسانی به شمار می‌رود. انسان برای رفع این مشکل راهکارهای زیادی را دنبال می‌کند. از جمله این راهکارها احداث سد می‌باشد.

در حالت کلی سدها به دو گروه سدهای بتنی و خاکی طبقه‌بندی می‌شوند که دارای تنوع خاص می‌باشند. سدهای بتنی به سدهای بتنی دو قوسی، سدهای وزنی و غیره و سدهای خاکی نیز به سدهای سنگریزه‌ای، سدهای خاکی با هسته رسی و غیره تقسیم می‌شوند. سدهای خاکی به علت رفتار مناسب در مقابل زلزله و در دسترس بودن مصالح ساخت از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشند.

همچنین می‌توان سدها را از نظر نوع کاربرد به سدهای مخزنی و انحرافی گروه‌بندی نمود: به گونه‌ای که سدمخزنی، آب‌های موجود در فصول پرآب را جهت مصرف در فصل‌های کم آب ذخیره می‌سازد و سد انحرافی، تنها سطح آب را به اندازه‌ی کافی بالا می‌آورد تا آب به مسیرهای مورد نظر(کانال آب و . . .) هدایت گردد.

مهار آب و هدایت آن به مناطقی که با کمبود آب مواجه‌اند، هدف اصلی احداث سد می‌باشد. یک سد می‌تواند با اهداف مختلف از جمله: آبیاری زمین‌های زراعی، تأمین آب آشامیدنی، تولید برق آبی، کنترل سیلاب‌ها، حفاظت خاک و . . . طراحی و ساخته شود.

سدهای اولیه با استفاده از آبرفت‌های در مسیر جریان و مصالح سنگی ساخته می‌شد. بتدریج مهارت سازندگان در طول قرن‌های متمادی افزایش یافت و سدهائی با مصالح بنائی و ملات احداث شد. با پیشرفت علم سدسازی، مهندسان دریافتند که یک سوم میانی سد برای تأمین مقاومت سدهای مخزنی تحت بار متوسط در مقابل واژگونی حائز اهمیت است. تا قرن بیستم بخش اعظم دانش مورد استفاده در طراحی سدهای خاکی، تجربی بوده و مقاومت آنها در مقابل نیروهای وارده به آسانی قابل تعیین نبود.

به طورکلی تا سال ۱۹۵۰ حدود ۴۰٪ از سدهائی که به ارتفاع بیش از ۱۵ متر احداث گردیدند، از نوع بتنی بودند. اما از آن دوره به بعد نسبت سدهای بتنی ساخته شده به کل سدها کاسته شد. کاهش سدهای بتنی، مربوط به دره‌های عریض می‌شد که بجای سدهای بتنی وزنی، سدهای خاکی و سنگریزه‌ای احداث گردید. [۱]

۱-۲- تعریف سدهای بزرگ

براساس نظر آئین نامه ICOLD[1] ، که توسط کمیسیون جهانی سدهای بزرگ تنظیم گردیده است، سدهایی که ارتفاع بیش از ۱۵ متر داشته باشند، جزء سدهای بزرگ طبقه‌بندی می‌شوند، همچنین سدهایی که ارتفاع آنها ۱۵-۱۰ متر بوده ولی حجم مخزن آنها بیش از یک میلیون مترمکعب باشد و یا سرریزی با ظرفیت بیش از ۲۰۰۰ مترمکعب در ثانیه داشته باشند، نیز به عنوان سدهای بزرگ شناخته خواهند شد.[۲]

۱-۳- مزایا و محاسن سدهای خاکی

سدهای خاکی شامل مزیت‌هایی می‌باشد که عبارتند از:

- از نظر شرایط توپوگرافی محل اجرا، عریض بودن یا تنگ بودن دره‌ی محل احداث، مشکلی ایجاد نمی‌کند.
- داشتن خصوصیات انطباق‌پذیری بیشتر مصالح مصرفی بدنه سد با مصالح بستر (چه سنگریزه‌ای باشد و چه خاکی) نسبت به سدهای ساخته شده با مصالح دیگر.
- فراوانی و کم‌هزینه بودن مصالح مصرفی در سدهای خاکی به دلیل استفاده از مصالح طبیعی
- به دلیل استفاده از مصالح خاکی و سنگریزه‌ای، بدنه‌ی سد و اجزای داخلی آن دارای خاصیت انعطاف‌پذیری می‌گردند.
- عملیات اجرایی به صورت پیوسته قابل اجرا می‌باشد.

۱-۴- معایب سدهای خاکی

معایب سدهای خاکی عبارتند از:

- در هنگام سیلاب و افزایش ارتفاع آب، اگر روگذری سیل اتفاق افتد، سد نمی‌تواند مقاومت کافی از خود نشان دهد و دچار انهدام می‌شود.
- در صورت بروز نشت پنهان در سد و فرسایش درونی سد یا پی، احتمال خراب شدن سد زیاد خواهد بود.

[1] - International Commission On Large Dam