بسم الله الرحمن الرحيم

وزارت علوم، تحقیقات و فناوری
دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

دانشکده مهندسی زراعی

پایان‌نامه دوره کارشناسی ارشد رشته مهندسی آب گرایش سازه‌های آبی

موضوع:

ارزیابی کارایی مدل سازی عددی اجزای محدود، در تحلیل سد های خاکی به روش آنالیز برگشتی (مطالعه موردی: سد گلستان)

اساتید راهنما:

دکتر سید حسن گلمایی

دکتر محسن مسعودیان

استاد مشاور:

دکتر محمدابراهیم یخکشی

دانشجو:

مهدی عرفانی

دی ماه ۱۳۹۲

تقدیم به:

پدر و مادر بسیار عزیز، دلسوز و فداکارم که پیوسته جرعه نوش جام تعلیم و تربیت، فضیلت و انسانیت آن‌ها بوده‌ام و همواره چراغ وجودشان روشنگر راه من در سختی‌ها و مشکلات بوده است.

سپاسگزاری

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

با تقدیر و تشکر شایسته از استاد فرهیخته و فرزانه آقای دکتر سید حسن گلایی که با نکته‌های ظریف ارزنده، صحیفه‌های سخن را علم پرور نمود و همواره راهنما و راه‌گشای نگارنده در اتمام و اکمال این پایان نامه بوده است. همچنین از آقای دکتر محسن مسعودیان، آقای دکتر ابراهیم تیخکشی و کلیه اساتید گروه مهندسی آب دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، که از محضر پر فیض آنان بهره‌ها برده‌ام، کمال تشکر را دارم و صمیمانه سپاسگزارم.

اساتید فرزانه و دلسوز؛ جناب آقایان دکتر میرخالق ضیاتبار احمدی و دکتر کریم سلیمانی که زحمت داوری این رساله را متقبل شدند؛ کمال تشکر و قدردانی را دارم.

با سپاس بی دریغ خدمت دوست گران مایه‌ام آقای دکتر نوید لطفی که مرا صمیمانه و مشفقانه یاری کرده است.

چکیده

ایمنی سد، هنر و علم حفظ یکپارچگی و عملکرد سدها به منظور پیشگیری از وقوع خطرهای غیر قابل جبران برای جان افراد، سرمایه‌های مالی و محیط زیست می‌باشد. این فرآیند، ترکیبی از تکنولوژی و تجربه در زمینه مدیریت ریسک است. در این تحقیق رفتار نگاری سد خاکی گلستان که در شمال ایران و در استان گلستان واقع شده است، در حین ساخت و اولین آبگیری مخزن سد، با استفاده از داده های ابزار دقیق سد و تحلیل برگشتی با نرم افزار پلکسیس، انجام شده است. ابزار بندی سد گلستان در چهار مقطع انجام شده است که در این تحقیق برای انجام تحلیل برگشتی بزرگ‌ترین مقطع ابزار بندی انتخاب شده است.

در تحلیل استاتیکی سد، بیش‌ترین مقدار نشست ساختمانی در هر دو نشست سنج در نزدیکی یک دوم ارتفاع سد رخ داده است و مقادیر بیشینه برای نشست تجمعی در پایین دست سد و در نزدیکی تاج سد صورت گرفته است. تغییرات فشار آب حفره‌ای در حین ساخت و نخستین آبگیری مخزن سد در بالا دست سد نسبت به پایین دست سد مقدار بیشتری داشته است. مقدار بیشینه‌ی فشار آب حفره‌ای در آبگیری مخزن و حالت مخزن پر رخ داده است که مقدار قرائت شده آن از ابزار دقیق برابر با ۶۰۵ کیلو نیوتن بر متر مربع و مقادیر نظیر آن حاصل از مدل سازی با مدل موهر- کلمب و خاک سخت شونده به ترتیب برابر با ۵۹۵ و ۶۱۰ کیلو نیوتن بر متر مربع است. مقدار بیشینه‌ی نشست سد در تحلیل دینامیکی پس از مدل سازی زلزله فریولی، در حالت انتهای ساخت و مخزن پر به ترتیب؛ ۸/۵ و ۱۶/۵ سانتیمتر به دست آمده است. تغییر مکان‌های افقی بیشینه در تحلیل دینامیکی سد مربوط به زمان مدل سازی زلزله‌ی فریولی در حالت مخزن پر سد است. جهت این تغییر مکان‌ها از بالا دست سد به سمت پایین دست است که بیش‌ترین مقدار آن ۳۸ سانتی متر محاسبه شده است. مقادیر بالای ضریب اطمینان به دست آمده در تحلیل استاتیکی و دینامیکی سد گلستان، نسبت به حداقل ارقام ضریب اطمینان توصیه شده توسط سازمان مهندسی ارتش ایالات متحده آمریکا برای پایداری سدهای خاکی، گویای پایداری سد در هر دو حالت استاتیکی و دینامیکی است.

واژه های کلیدی:

سد گلستان، پلکسیس، افت سریع مخزن، تحلیل دینامیکی.

فهرست مطالب

فصل اول: کلیات

۱-۱ مقدمه ۲

۱-۲ ضرورت تحقیق ۵

۱-۳ ساختار پایان نامه ۶

فصل دوم: مروری بر منابع علم

۲-۱ مقدمه ۲

۲-۲ تاریخچه تخریب سدهای معروف در جهان بر اساس سال وقوع ۳

۲-۳ پیشینه تحقیق ۴

فصل سوم: مواد و روش ها۲

۳-۱ مقدمه ۲

۳-۲ مبانی طراحی و مشخصات بدنه و پی سد گلستان ۳

۳-۲-۱ موقعیت جغرافیایی و اهداف ساخت سد گلستان ۳

۳-۲-۲ مشخصات عمومی سد گلستان ۴

۳-۲-۳ مشخصات ژئوتکنیکی منابع قرضهی سد گلستان ۶

۳-۲-۴ طراحی و اصلاح پی سد گلستان ۷

۳-۲-۵ بهسازی پی سد گلستان ۸

۳-۲-۶ شیب شیروانی‌های خاکریز سد گلستان ۹

۳-۲-۷ سیستم زه کش و فیلترهای سد گلستان ۹

۳-۳ سیستم ابزار دقیق سد گلستان ۱۱
۳-۳-۱ نشست سنج‌های مغناطیسی سد گلستان ۱۲
۳-۳-۲ انحراف سنج‌های سد گلستان ۱۳
۳-۳-۳ سلول‌های فشار سنج نصب شده در سد گلستان ۱۴
۳-۳-۴ پیزومترهای کاساگاراندهی سد گلستان ۱۵
۳-۳-۵ پیزومتر های تار مرتعش سد گلستان ۱۶
۳-۴ روش اجزای محدود ۱۸
۳-۴-۱ روش حساب تغییرات ۱۸
۳-۵ نرم افزار اجزای محدود پلکسیس ۱۹
۳-۵-۱ اطلاعات ورودی و المان‌های نرم افزار پلکسیس ۲۰
۳-۵-۲ مش بندی مدل ۲۱
۳-۵-۳ محاسبات و اطلاعات خروجی پلکسیس ۲۱
۳-۶ مدل‌های رفتاری خاک ۲۲
۳-۶-۱ مدل رفتاری موهر کلمب ۲۲
۳-۶-۲ مدل رفتاری سخت‌شوندگی ۲۵
۳-۶-۳ مقایسه مدل رفتاری موهر-کلمب با مدل سخت‌شوندگی ۲۶

فصل چهارم: نتایج و بحث

۴-۱ مقدمه ۲
۴-۲ تحلیل استاتیکی سد گلستان ۲
۴-۲-۱ مدل سازی ساخت سد گلستان ۲
۴-۲-۲ تحلیل استاتیکی سد گلستان در اولین آبگیری مخزن ۲۱
۴-۲-۳ مدل سازی آبگیری سریع مخزن سد گلستان ۲۸

۴-۲-۴ مدل سازی تخلیه سریع مخزن سد گلستان ۳۰
۴-۳ تحلیل دینامیکی سد گلستان..... ۳۴
۴-۳-۱ نتایج مدل سازی دینامیکی، حالت انتهای ساخت سد گلستان ۳۶
۴-۳-۲ نتایج مدل سازی دینامیکی سد گلستان در اولین آبگیری مخزن ۴۳
فصل پنجم: نتیجه گیری، پیشنهادات
۵-۱ نتیجه گیری..... ۲
۵-۲ پیشنهادات..... ۸
مراجع ۹۶

فهرست شکل‌ها

شکل ۳- ۱- موقعیت جغرافیایی سد گلستان بر روی نقشه ایران. ۳

شکل ۳- ۲- تصویر ماهواره ای از سد گلستان، خرداد ماه ۱۳۹۰. ..... ۴

شکل ۳- ۳- مقطع عرضی سد گلستان با زه کش دود کشی و دیوار آب بند ۵

شکل ۳- ۴- تصویری از نحوه‌ی اجرای دیوار آب بند سد گلستان. ۹

شکل ۳- ۵- تعیین دانه بندی مصالح فیلتر در سد های خاکی. ۱۰

شکل ۳- ۶- تصویر نشست سنج مغناطیسی. ۱۲

شکل ۳- ۷- تصویری از قسمت‌های مختلف یک انحراف سنج. ۱۳

شکل ۳- ۸- تصویری از انواع مختلف سلول فشار سنج. ۱۴

شکل ۳- ۹- تصویری شماتیک از پیزومتر کاساگارانده با تشریح اجزای پیزومتر. ۱۵

شکل ۳- ۱۰- تصویری از انواع مختلف پیزومتر تار مرتعش. ۱۶

شکل ۳- ۱۱- مقطع ۲ ابزار گذاری سد گلستان. ۱۷

شکل ۳- ۱۲-تصویری از مدل دو بعدی کرنش مسطح و تقارن محوری ۲۰

شکل ۳- ۱۳-موقعیت گره‌ها و نقاط تنش در اجزای خاک..... ۲۱

شکل ۳- ۱۴- منحنی تنش کرنش در آزمایش سه محوری ۲۳

شکل ۳- ۱۵- نمودار دوایر موهر ۲۴

شکل ۴- ۱ منحنی زمان بندی خاکریزی بدنه سد گلستان..... ۳

شکل ۴- ۲- تنظیمات عمومی مدل سد گلستان در نرم افزار پلکسیس، بخش پروژه. ۳

شکل ۴- ۳- تنظیمات عمومی مدل سد گلستان در نرم افزار پلکسیس، بخش ابعاد. ۴

شکل ۴- ۴- مدل هندسی سد گلستان در نرم افزار پلکسیس. ۴

شکل ۴- ۵- تصویری از پنجره تنظیمات مواد مدل در نرم افزار پلکسیس. ۶

شکل ۴- ۶-تصویری از مدل سد گلستان پس از وارد کردن مشخصات مواد تشکیل دهنده‌ی سد. ۷

شکل ۴- ۷- نحوه‌ی توزیع فشار آب حفره‌ای پس از اعمال فشار آب به مدل. ۷
شکل ۴- ۸- نحوه‌ی توزیع تنش‌های موثر پس از اعمال تنش‌های اولیه به مدل. ۸
شکل ۴- ۹- پنجره‌ی تنظیمات محاسبات در نرم افزار پلکسیس. ۸
شکل ۴- ۱۰- تصویری از مدل سد گلستان در نرم افزار پلکسیس پس از ایجاد پرده آب بند. ۹
شکل ۴- ۱۱-خاکریزی لایه اول بدنه سد، فاز پنج. ۹
شکل ۴- ۱۲-خاکریزی لایه دوم بدنه سد، فاز هفت. ۱۰
شکل ۴- ۱۳- خاکریزی لایه سوم بدنه سد، فاز نه. ۱۰
شکل ۴- ۱۴-خاکریزی لایه چهارم بدنه سد، فاز یازده. ۱۰
شکل ۴- ۱۵- خاکریزی لایه پنجم بدنه سد، فاز سیزده. ۱۰
شکل ۴- ۱۶- خاکریزی لایه ششم بدنه سد، فاز پانزده. ۱۰
شکل ۴- ۱۷- خاکریزی لایه هفتم بدنه سد، فاز هفده. ۱۱
شکل ۴- ۱۸-خاکریزی لایه هشتم بدنه سد، فاز نوزده. ۱۱
شکل ۴- ۱۹- خاکریزی لایه نهم بدنه سد، فاز بیست و یک. ۱۱
شکل ۴- ۲۰- تصویری از پنجره‌ی انجام محاسبات در نرم افزار پلکسیس. ۱۲
شکل ۴- ۲۱- نحوه‌ی تغییر شکل المان بندی مدل سد گلستان، حالت انتهای ساخت در نرم افزار پلکسیس با استفاده از مدل موهر- کلمب (مقیاس: ۵۰ برابر بزرگ نمایی). ۱۲
شکل ۴- ۲۲- نحوه‌ی تغییر شکل المان بندی مدل سد گلستان، حالت انتهای ساخت در نرم افزار پلکسیس با استفاده از مدل خاک سخت شونده (مقیاس: ۵۰ برابر بزرگنمایی). ۱۲
شکل ۴- ۲۳- منحنی تغییرات نشست سد های بزرگ جهان در برابر افزایش ارتفاع سد ۱۴
شکل ۴- ۲۴- مقایسه نشست اندازه گیری شده در بالادست سد گلستان با مقادیر حاصل از مدل سازی (نشست سنج ms3)..... ۱۵

شکل ۴- ۲۵- مقایسه نشست اندازه گیری شده در پایین دست سد گلستان با مقادیر حاصل از مدل سازی (نشست سنج ms4)..... ۱۵
شکل ۴- ۲۶- مقایسه نشست تجمعی اندازه گیری شده در بالادست سد گلستان با مقادیر حاصل از مدل سازی در حین ساخت سد (نشست سنج MS3) ۱۶
شکل ۴- ۲۷- مقایسه نشست تجمعی اندازه گیری شده در پایین دست سد گلستان با مقادیر حاصل از مدل سازی در حین ساخت سد (نشست سنج MS4) ۱۶
شکل ۴- ۲۸- نحوه‌ی تغییر مکان‌های افقی مدل سد گلستان، حالت انتهای ساخت در نرم افزار پلکسیس با استفاده از مدل موهر- کلمب (مقیاس: ۵۰۰ برابر بزرگ نمایی)..... ۱۷
شکل ۴- ۲۹- نحوه‌ی تغییر مکان‌های افقی مدل سد گلستان، حالت انتهای ساخت در نرم افزار پلکسیس با استفاده از مدل خاک سخت شونده (مقیاس: ۵۰۰ برابر بزرگ نمایی). ۱۸
شکل ۴- ۳۰-اضافه فشار آب حفره‌ای سد گلستان در حین ساخت در محدوده پیزومتر S15 ..... ۱۹
شکل ۴- ۳۱- تغییرات ضرایب اطمینان سد در برابر افزایش ارتفاع خاکریزی بدنه سد گلستان. ۲۱
شکل ۴- ۳۲- منحنی تغییرات تراز آب مخزن سد گلستان در برابر زمان. ۲۲
شکل ۴- ۳۳- فاز ۲۲ مدل سازی سد گلستان در نرم افزار پلکسیس، تراز ۵۰/۵۰ متری مخزن. ۲۲
شکل ۴- ۳۴- فاز ۲۳ مدل سازی سد گلستان در نرم افزار پلکسیس، تراز ۵۲/۵۰ متری مخزن. ۲۳
شکل ۴- ۳۵- فاز ۲۴ مدل سازی سد گلستان در نرم افزار پلکسیس، تراز ۵۷ متری مخزن. ۲۳
شکل ۴- ۳۶- فاز ۲۵ مدل سازی سد گلستان در نرم افزار پلکسیس، تراز ۵۲ متری مخزن. ۲۳
شکل ۴- ۳۷- فاز ۲۶ مدل سازی سد گلستان در نرم افزار پلکسیس، تراز ۵۳ متری مخزن. ۲۳
شکل ۴- ۳۸- فاز ۲۷ مدل سازی سد گلستان در نرم افزار پلکسیس، تراز ۴۷/۵۰ متری مخزن. ۲۴
شکل ۴- ۳۹- فاز ۲۸ مدل سازی سد گلستان در نرم افزار پلکسیس، تراز ۵۳/۵۰ متری مخزن. ۲۴
شکل ۴- ۴۰- فاز ۲۹ مدل سازی سد گلستان در نرم افزار پلکسیس، تراز ۶۳/۳۰ متری مخزن. ۲۴

شکل ۴- ۴۱- تغییر مکان‌های کلی سد پس از انجام آخرین فاز آبگیری با استفاده از مدل موهر- کلمب (مقیاس: ۲۰۰ برابر بزرگ نمایی). ۲۵
شکل ۴- ۴۲- تغییر مکان‌های کلی سد پس از انجام آخرین فاز آبگیری با استفاده از مدل خاک سخت شونده (مقیاس: ۲۰۰ برابر بزرگنمایی). ۲۵
شکل ۴- ۴۳- مقایسه نشست اندازه گیری شده در بالادست سد گلستان با مقادیر حاصل از مدل سازی سد در اولین آبگیری مخزن سد (نشست سنج MS3)..... ۲۶
شکل ۴- ۴۴- مقایسه نشست اندازه گیری شده در پایین دست سد گلستان با مقادیر حاصل از مدل سازی سد در اولین آبگیری مخزن سد (نشست سنج MS4)..... ۲۶
شکل ۴- ۴۵- مقایسه مقادیر فشار آب حفرهای حاصل از مدل سازی با نتایج حاصل از قرائت پیزومتر S12 در اولین آبگیری سد. ۲۷
شکل ۴- ۴۶- مقایسه مقادیر فشار آب حفرهای حاصل از مدل سازی با نتایج حاصل از قرائت پیزومتر S15 در اولین آبگیری سد. ۲۷
شکل ۴- ۴۷- تصویری از تاج سد گلستان، پس از اولین آبگیری مخزن سد ۲۹
شکل ۴- ۴۸- تصویری از نحوه‌ی توزیع خطوط گسیختگی سد گلستان پس از مدل سازی وقوع سیل در زمان کمتر از یک روز. ۲۹
شکل ۴- ۴۹- تصویری از نحوه‌ی توزیع خطوط گسیختگی سد گلستان پس از مدل سازی وقوع سیل در زمان ۲۰ روز. ۳۰
شکل ۴- ۵۰- روند توزیع فشار آب حفره ای سد گلستان پس از مدل سازی آبگیری سریع مخزن. ۳۰
شکل ۴- ۵۱- روند تغییرات اضافه فشار آب حفرهای در مدل سازی افت سریع تراز آب مخزن سد گلستان (زمان: ۱۶ ساعت). ۳۱
شکل ۴- ۵۲- روند تغییرات اضافه فشار آب حفرهای در مدل سازی افت تراز آب مخزن سد گلستان (زمان: ۲۰ روز). ۳۱

شکل ۴- ۵۳- تغییر مکان‌های افقی سد گلستان، حاصل از مدل سازی افت سریع تراز آب مخزن در زمان ۱۶ ساعت، (مقیاس:۵۰۰ برابر بزرگ نمایی)..... ۳۲
شکل ۴- ۵۴- تغییر مکان‌های افقی سد گلستان، حاصل از مدل سازی افت تراز آب مخزن در زمان ۲۰ روز، (مقیاس: ۵۰۰ برابر بزرگ نمایی). ۳۲
شکل ۴- ۵۵- تغییر مکان‌های قائم سد گلستان، حاصل از مدل سازی افت سریع تراز آب مخزن در زمان: ۱۶ ساعت، (مقیاس: ۵۰۰ برابر بزرگ نمایی)..... ۳۳
شکل ۴- ۵۶- تغییر مکان‌های قائم سد گلستان، حاصل از مدل سازی افت تراز آب مخزن در زمان:۲۰ روز، (مقیاس: ۵۰۰ برابر بزرگ نمایی). ۳۳
شکل ۴- ۵۷- روند جریان آب خروجی از زه کش سد گلستان در مدل سازی افت سریع مخزن سد. ۳۳
شکل ۴- ۵۸- نمودار شتاب ورودی زلزله فریولی در نرم افزار پلکسیس. ۳۵
شکل ۴- ۵۹-نمودار شتاب ورودی زلزله ایرپینیا در نرم افزار پلکسیس. ۳۶
شکل ۴- ۶۰- نحوه‌ی تغییر شکل شبکه المان بندی مدل سد گلستان پس از اعمال زلزله فریولی، با ۱۰۰ برابر بزرگ نمایی. ۳۶
شکل ۴- ۶۱- نحوه‌ی تغییر شکل شبکه المان بندی مدل سد گلستان پس از اعمال زلزله ایرپینیا، با ۱۰۰ برابر بزرگ نمایی. ۳۷
شکل ۴- ۶۲- تغییر مکان‌های قائم سد گلستان پس از مدل سازی زلزله‌ی فریولی. ۳۷
شکل ۴- ۶۳- تغییر مکان‌های قائم سد گلستان پس از مدل سازی زلزله‌ی ایرپینیا. ۳۸
شکل ۴- ۶۴- تغییر مکان‌های افقی سد گلستان پس از مدل سازی زلزله‌ی فریولی. ۳۸
شکل ۴- ۶۵- تغییر مکان‌های افقی سد گلستان پس از مدل سازی زلزله‌ی ایرپینیا. ۳۹
شکل ۴- ۶۶- دیاگرام تغییر مکان‌های کلی دیوار آب بند سد گلستان در مدل سازی زلزله‌ی فریولی، حالت انتهای ساخت سد. ۴۰

شکل ۴- ۶۷- دیاگرام تغییر مکان‌های کلی دیوار آب بند سد گلستان در مدل سازی زلزله‌ی ایرپینیا، حالت انتهای ساخت سد. ۴۰
شکل ۴- ۶۸- دیاگرام گشتاور های خمشی دیوار آب بند سد گلستان در مدل سازی زلزله‌ی فریولی، حالت انتهای ساخت. ۴۱
شکل ۴- ۶۹-دیاگرام گشتاور های خمشی دیوار آب بند سد گلستان در مدل سازی زلزله‌ی ایرپینیا، حالت انتهای ساخت. ۴۱
شکل ۴- ۷۰- طیف پاسخ شتاب افقی مدل سازی زلزله‌ی فریولی در بالادست تاج، پایین دست تاج و پنجه‌ی سد. ۴۲
شکل ۴- ۷۱- طیف پاسخ شتاب افقی مدل سازی زلزله‌ی ایرپینیا در بالادست تاج، پایین دست تاج و پنجه-ی سد. ۴۲
شکل ۴- ۷۲- روند تغییر شکل المان بندی مدل سد گلستان پس از زلزله‌ی فریولی در حالت مخزن پر، (مقیاس: ۵۰ برابر بزرگ نمایی). ۴۳
شکل ۴- ۷۳- روند تغییر شکل المان بندی مدل سد گلستان پس از زلزله‌ی ایرپینیا در حالت مخزن پر، (مقیاس: ۵۰ برابر بزرگ نمایی). ۴۳
شکل ۴- ۷۴- تغییر مکان‌های افقی سد گلستان در حالت مخزن پر، پس از اعمال زلزله‌ی فریولی، (مقیاس: ۱۰۰ برابر بزرگ نمایی). ۴۴
شکل ۴- ۷۵- تغییر مکان‌های افقی سد گلستان در حالت مخزن پر، پس از اعمال زلزله‌ی ایرپینیا، (مقیاس: ۱۰۰ برابر بزرگ نمایی). ۴۴
شکل ۴- ۷۶- تغییر مکان‌های قائم سد گلستان پس از اعمال زلزله‌ی فریولی در حالت مخزن پر، (مقیاس: ۱۰۰ برابر بزرگ نمایی). ۴۵
شکل ۴- ۷۷- تغییر مکان‌های قائم سد گلستان پس از اعمال زلزله‌ی ایرپینیا در حالت مخزن پر، (مقیاس: ۱۰۰ برابر بزرگ نمایی). ۴۵

شکل ۴- ۷۸- نحوه‌ی توزیع تنش کل در بدنه سد گلستان پس از اعمال زلزله‌ی فریولی، در حالت مخزن پر. ۴۶

شکل ۴- ۷۹- نحوه‌ی توزیع تنش کل در بدنه سد گلستان پس از اعمال زلزله‌ی ایرپینیا، در حالت مخزن پر. ۴۶

شکل ۴- ۸۰- منحنی روند تغییرات اضافه فشار آب حفره‌ای در برابر زمان دینامیکی، پس از زلزله‌ی فریولی در حالت مخزن پر. ۴۷

شکل ۴- ۸۱- منحنی روند تغییرات اضافه فشار آب حفره‌ای در برابر زمان دینامیکی، پس از زلزله‌ی ایرپینیا در حالت مخزن پر. ۴۷

شکل ۴- ۸۲- طیف پاسخ شتاب افقی مدل سازی زلزله‌ی فریولی در بالادست تاج، پایین دست تاج و پنجه‌ی سد، حالت مخزن پر. ۴۸

شکل ۴- ۸۳- طیف پاسخ شتاب افقی مدل سازی زلزله‌ی ایرپینیا در بالادست تاج، پایین دست تاج و پنجه-ی سد گلستان، حالت مخزن پر. ۴۸

شکل ۴- ۸۴- تغییر مکان‌های کلی دیوار آب بند سد گلستان پس از اعمال زلزله‌ی فریولی، حالت مخزن پر. ۴۹

شکل ۴- ۸۵- تغییر مکان‌های کلی دیوار آب بند سد گلستان پس از اعمال زلزله‌ی ایرپینیا، حالت مخزن پر. ۴۹

شکل ۴- ۸۶- دیاگرام گشتاور های خمشی دیوار آب بند سد گلستان پس از اعمال زلزله‌ی فریولی، در حالت مخزن پر. ۵۰

شکل ۴- ۸۷- دیاگرام گشتاور های خمشی دیوار آب بند سد گلستان پس از اعمال زلزله‌ی ایرپینیا، در حالت مخزن پر. ۵۰

فهرست جدول‌ها

جدول۳- ۱ مشخصات ابزار دقیق نصب شده در سد گلستان. ۱۱

جدول۳- ۲ تراز ارتفاعی نقاط نصب پیزومتر های کاساگارانده در سد گلستان..... ۱۶

جدول۳- ۳ مشخصات ابزار دقیق نصب شده در مقطع ۲ ابزار گذاری سد گلستان..... ۱۷

جدول۴- ۱ مشخصات ژئوتکنیکی سد گلستان..... .....۵

جدول۴- ۲ مشخصات پارامتر های پیشرفته مربوط به مدل رفتاری سخت‌شوندگی ۵

جدول۴- ۳ مقایسه نتایج نشست‌های سد گلستان در محدوده‌ی نشست سنج MS3 ..... ۱۳

جدول۴- ۴ مقایسه نتایج نشست‌های سد گلستان در محدوده‌ی نشست سنج MS4 ..... ۱۴

جدول۴- ۵ مقایسه نتایج اضافه فشار آب حفرهای سد گلستان در پیزومتر S15..... ۱۹

جدول۴- ۶ مقادیر حداقل ضریب اطمینان قابل قبول توصیه شده توسط سازمان مهندسی ارتش آمریکا در تحلیل پایداری سدها ۲۰

جدول۴- ۷ ضرایب اطمینان سد گلستان پس از هر مرحله از خاکریزی بدنه سد. ۲۱

جدول۴- ۸ ضرایب اطمینان سد گلستان پس از اولین آبگیری مخزن سد. ۲۸

جدول۴-۹ مقایسه ضرایب اطمینان سد گلستان در تحلیل دینامیکی و استاتیکی.....۸۸

لیست علائم و اختصارات

تنش موثر ..... σ'

تنش کل ..... σ

فشار آب منفذی ..... u

نیروی برشی ..... S

چسبندگی موثر C

تنش برشی ..... τ

گرادیان هیدرولیکی ..... i_e

گرادیان هیدرولیکی بحرانی ..... i_{cr}

چگالی مخصوص ..... G_s

وزن مخصوص آب ..... γ_w

لنگر مقاوم ..... M_R

لنگر حرکتی ..... M_D

ضریب فشار خاک در حالت استاتیک ..... K_0

نسبت پواسون ..... ν

کرنش نرمال ..... ε

وزن مخصوص خاک ..... γ

فشار اضافی هوا ..... u_a

فشار اضافی آب ..... u_w

مدول الاستیسیته ..... E

نیروی برشی مقاومتی ..... S_r

نیروی برشی حرکت..... S_m

ضریب اطمینان..... S.F

رطوبت حجمی خاک..... Θ

مدول سختی خمشی..... G

مساحت سطح مقطع..... A

مدول محوری..... EA

طول..... L

انرژی کرنش..... Π_a

زاویه اصطکاک داخلی..... Φ

بار هیدرولیکی کل..... h

ضریب هدایت هیدرولیکی غیراشباع در جهت افقی..... K_x

ضریب هدایت هیدرولیکی غیراشباع در جهت عمودی..... K_y

زمان..... t

تخلخل..... n

درجه‌ی اشباع..... S

رطوبت باقیمانده..... θ_r

رطوبت اشباع ..... θ_S

زاویه اتساع..... Ψ

قابلیت هدایت هیدرولیکی اشباع ..... k_s

فصل اول

کلیات

۱- کلیات

۱-۱ مقدمه

سرزمین پهناور ایران در منطقه‌ای خشک و نیمه خشک قرار گرفته است و توزیع ناموزون جریان‌های سطحی، محدودیت‌های عمده‌ای را در استفاده بهینه از آب، این عنصر حیاتی، به وجود آورده است. علاوه بر این، قسمت اعظم این جریان‌های آب قبل از این که مورد استفاده قرار گیرند، از دسترس خارج شده و به سوی دریا سرازیر می‌گردند. از آن جا که تأمین آب همواره نیاز اساسی بشر برای استفاده های کشاورزی، صنعتی و شرب بوده است، لذا مهار سیلاب‌ها و آب‌های جاری از طریق احداث سد، از کار های اساسی و زیر بنایی در این زمینه بوده است. پیشینیان و نیاکان ما از قرن‌ها پیش با دانش و فن سد سازی، آشنایی کامل داشته و با احداث تأسیسات آبی مختلف و انواع سدها، که پس از صدها سال هنوز استوار و پایدار باقی مانده‌اند، تحسین و تعجب متخصصان و صاحب نظران بین‌المللی را در عصر حاضر بر انگیخته‌اند. از جمله سد های قدیمی در کشورمان می‌توان به سد داریوش روی رودخانه کر اشاره کرد که عمری بیش از ۲۵۰۰ سال دارد و یا سد بهمن شیر که بیش از ۲۰۰۰ سال قدمت دارد.

سدها به عنوان منابع ذخیره سازی آب، طراحی و ساخته می‌شوند، لذا این سازه‌ها عامل مهمی در توسعه ظرفیت رودخانه با اهداف کشاورزی، تأمین آب شرب، نیروگاه‌ها و تولید انرژی، کنترل سیلاب، تفریحات و سایر پروژه های اقتصادی سودمند محسوب می‌گردند و بدین لحاظ سدها باید در طول سالیان متمادی در برابر بارهای نسبتاً بزرگ که توسط آب و سایر عوامل ایجاد می‌گردد، به صورت ایمن مقاومت نموده و پایداری لازم را از خود نشان دهند. در صورت آزاد شدن ناگهانی آب ذخیره شده، هنگام تخریب سد، پتانسیل عظیمی به وجود خواهد آمد که قادر است صدمات جانی و مالی شدیدی را به قسمت‌های پایین دست وارد آورد.