دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

دانشکده عمران

پایان‌نامه کارشناسی ارشد

گرایش خاک و پی

عنوان:

ارزیابی کیفی و مقایسه نتایج ابزار دقیق سد(جابجایی، کرنش، شیب) با نتایج عددی

استاد راهنما:

دکتر سید امیر الدین صدرنژاد

نگارش:

امیرکاظمی توسه

بهمن ۱۳۹۱

بسم الله الرحمن الرحیم

تقدیم به

پدر دلسوز و مادر مهربانم که در تمامی مراحل زندگی غمخوار و پشتیبان من، هستند.

تقدیر و تشکر

در ابتدا بر خود واجب میدانم که از زحمات استاد ارجمندم جناب آقای دکتر سید امیرالدین صدرنژاد که در تمامی مراحل انجام کار حامی و پشتیبان این بنده حقیر بودند، کمال تشکر و قدردانی را بنمایم. همچنین لازم است از جناب آقای مهندس حسین اکبری و همکارانشان در شرکت مهندسی سپاسد و جناب آقای مهندس حبیب نیرومند در شرکت مهاب قدس که بنده را در جمع آوری اطلاعات لازم برای انجام کار کمک نمودند، صمیمانه تشکر و قدردانی بنمایم و از خداوند منان برای همه این عزیزان آرزوی توفیق روز افزون دارم.

چکیده:

الگو سازی دقیق و بررسی رفتار سدهای خاکی/ سنگریزه‌ای دارای حفاری‌های زیاد در زیر سد، با لحاظ نمودن توپوگرافی دره سد پس از حفاری، در الگو میسر می‌باشد. در تحقیق حاضر از سد سنگریزه‌ای گتوند علیا با طول تاج ۷۶۰ متر و ارتفاع ۱۸۰ متر (L/H=۴.۲) استفاده شده است. سد گتوند علیا در فاصله ۳۸۰ کیلومتری از مصب رودخانه کارون در کنار شهرستان گتوند واقع شده است. الگوسازی سه بعدی با استفاده از نرم افزار Midas GTS انجام گرفته است. این نرم‌افزار قادر به تحلیل توأم جریان آب و تغییرشکل با استفاده از الگوهای رفتاری خطی و غیرخطی برای خاک می-باشد. روش حل در این نرم افزار اجزاء محدود می‌باشد. نتایج الگوسازی در زمان ساخت و آبگیری اولیه با اطلاعات ابزار دقیق ثبت شده در سد مقایسه شده است. در انتها نیز نتایج تغییر مکان‌ها و فشارهای سد در حالت دینامیکی مورد بررسی قرار گرفته و مقدار ضریب فشار آب حفره‌ای در حالت دینامیکی و تراوش پایدار با یکدیگر مقایسه شده است.

کلید واژه: سدهای خاکی/ سنگریزه‌ای، اجزاء محدود، ابزار دقیق، سد گتوند، آبگیری اولیه مخزن، تحلیل دینامیکی.

فهرست مطالب

فصل اول: مقدمه و کلیات

۱-۱ مقدمه ۲
۱-۲ ضرورت تحقیق ۳
۱-۳ هدف تحقیق ۳
۱-۴ ساختار تحقیق ۴

فصل دوم: مروری بر متون فنی

۲-۱ بررسی رفتار کلی سدهای خاکی و سنگریزه‌ای ۶
۲-۱-۱ مقدمه ۶
۲-۱-۲ عوامل موثر بر تغییر شکل سدهای سنگریزه‌ای ۷
۲-۱-۳ روش های پیش بینی تغییر شکل در سدها ۱۱
۲-۲ بررسی رفتار سدهای سنگریزه‌ای در حین ساخت ۱۴
۲-۲-۱ شرایط تنش هنگام ساخت ۱۴
۲-۲-۲ مقدار فشار آب حفره‌ای در حین ساخت ۱۸
۲-۲-۳ مقادیر تغییرمکان در حین ساخت ۲۰
۲-۳ بررسی رفتار سد در دوران آبگیری ۳۵
۲-۳-۱ مقدمه ۳۵
۲-۳-۲ اصول فرونشست در سدهای سنگریزه‌ای ۳۶
۲-۳-۳ حالت کلی در آبگیری اولیه ۴۲
۲-۴ رفتارنگاری درسدها ۴۵
۲-۴-۱ مقدمه ۴۵
۲-۴-۲ عوامل ناپایداری در سدها ۴۶
۲-۴-۳ شاخص‌هایی که باید رفتار سنجی شوند و ابزار معمول مربوطه ۴۶
۲-۴-۴ عوامل موثر برشاخص‌های رفتارسنجی ۴۷
۲-۴-۵ انتخاب ابزار دقیق ۴۷
۲-۴-۶ شاخص‌های هدف در ابزارگذاری ۴۸

فصل سوم: معرفی سد مورد مطالعه

۳-۱ مقدمه ۵۶
۳-۲ مشخصات کلی طرح ۵۶
۳-۲-۱ معرفی طرح ۵۶
۳-۲-۲ ویژگی‌های طرح ۵۷
۳-۲-۳ اهداف عمده طرح ۵۷
۳-۲-۴ مشخصات رودخانه و حوضه آبریز ۵۷
۳-۲-۵ زمین‌شناسی منطقه ۵۸
۳-۲-۶ مشخصات بدنه ۵۸
۳-۲-۷ مشخصات مخزن ۵۹
۳-۲-۸ مشخصات هندسی سد ۵۹
۳-۲-۹ ناحیه‌بندی سد ۶۰
۳-۳ شبکه رفتارنگاری سد ۶۰
۳-۳-۱ پیزومترهای تار مرتعش ۶۱
۳-۳-۲ سلول‌های اندازه‌گیری فشار کل ۶۲
۳-۳-۳ نشست‌سنج‌ها ۶۲
۳-۳-۴ انحراف‌سنج‌ها ۶۳

فصل چهارم: تهیه الگوی عددی

۴-۱ معرفی نرم افزار MIDAS GTS ۶۵
۴-۲ دلایل استفاده از نرم افزار MIDAS GTS ۶۵
۴-۳ نحوه الگو سازی عددی ۶۵
۴-۳-۱ ایجاد توپوگرافی ساختگاه سد در برنامه ۶۵
۴-۳-۲ ایجاد هندسه الگو و تولید شبکه اجزاء محدود آن ۶۷
۴-۴ مشخصات الگوی اجزای محدود سد گتوند علیا ۶۹
۴-۵ الگوهای رفتاری استفاده شده ۷۰
۴-۵-۱ الگوی کشسان خمیری موهر-کولمب ۷۰
۴-۵-۲ الگوی بارتون ۷۳
۴-۶ داده‌های مکانیک خاکی بخش های مختلف سد و پیمایش آنها ۷۷
۴-۶-۱ مقدمه ۷۷
۴-۶-۲ هسته ۷۸
۴-۶-۳ فیلتر و زهکش ۸۴
۴-۶-۴ پوسته ۸۴
۴-۶-۵ ساختگاه سد ۹۱

فصل پنجم: تحلیل نتایج

۵-۱ مقدمه:..... ۹۳
۵-۲ الگوسازی مراحل ساخـــت ۹۴
۵-۲-۱ شرایط مرزی بکار رفته در الگو ۹۵
۵-۲-۲ محاسبه مقادیر اضافه خاکریزی و کاهش آن از نشست بالای هر لایه.....۹۶
۵-۲-۳ نتایج حاصل از اعمال سه دسته فراسنج برای مصالح سد ۹۸
۵-۲-۴ اثر نحوه نصب سلول‌های فشارسنجی بر مقادیر اندازه‌گیری شده ۹۹
۵-۳ تحلیل و مقایسه نتایج بدست آمده از الگوی عددی با نتایج ثبت شده توسط ابزار دقیق در دوران ساخت ۱۰۲
۵-۳-۱ مقطع ۲-۲ ابزار گذاری ۱۰۲
۵-۳-۲ مقطع ۴-۴ ابزار گذاری ۱۰۹
۵-۳-۳ مقطع ۶-۶ ابزار گذاری.....۱۱۹
۵-۴ الگوسازی آبگیری ۱۲۶
۵-۵ تحلیل و مقایسه نتایج بدست آمده از الگوی عددی با نتایج ثبت شده توسط ابزار دقیق در دوران آبگیری ۱۲۷
۵-۵-۱ مقطع ۲-۲ ابزار گذاری ۱۲۸
۵-۵-۲ مقطع ۴-۴ ابزار گذاری ۱۳۷
۵-۵-۳ مقطع ۶-۶ ابزار گذاری.....۱۴۳
۵-۶ جمع‌بندی نتایج تغییر شکل‌سنجی و فشارسنجی ۱۵۲
۵-۶-۱ تغییر شکل های قائم.....۱۵۲
۵-۶-۲ تغییر شکل های افقی ۱۵۳
۵-۶-۳ فشارسنج‌های قائم ۱۵۵
۵-۶-۴ پیزومترهای خاکریز ۱۵۶

فصل ششم: تحلیل دینامیکی

۶-۱ تحلیل دینامیکی..... ۱۵۹
۶-۲ روش تحلیل: ۱۵۹
۶-۳ نتایج تحلیل دینامیکی ۱۶۰
۶-۴ تاریخچه شتاب افقی تاج سد ۱۶۳
۶-۵ تاریخچه جابجایی افقی تاج سد ۱۶۴
۶-۶ بررسی نسبت فشار آب حفره ای (R_U) ۱۶۴
۶-۶-۱ رابطه زنگار برای تخمین مقدار فشار هیدرودینامیک بعد از زلزله ۱۶۴
۶-۶-۲ نتایج حاصل از تحلیل استاتیکی در حالت پایدار و حالت پایدار بعلاوه فشار هیدرودینامیک۱۶۶

فصل هفتم: نتیجه گیری و پیشنهادات آتی

عمده دلایل اختلاف نتایج عددی و نتایج ابزار دقیق : ۱۷۰

فهرست مراجع..... ۱۷۴

پیوست الف..... ۱۷۷

پیوست ب..... ۱۸۲

فهرست شکل‌ها

شکل ۱-۲: تغییرات زاویه اصطکاک داخلی با فشار قائم. ۸
شکل ۲-۲: تأثیر میزان شن بر زاویه اصطکاک ۹
شکل ۳-۲: وضعیت عرض و ارتفاع لایه‌ها در حین ساخت. ۱۵
شکل ۴-۲: بررسی پدیده قوس‌زدگی در هسته سدها ۱۷
شکل ۵-۲: چگونگی افزایش تنش قائم در سدها (اندازه‌گیری شده و تحلیل شده) ۱۸
شکل ۶-۲: مقادیر تخمین ضریب تغییر شکل جانبی هسته در پایین ساخت. ۲۲
شکل ۷-۲: مقادیر اندازه‌گیری شده ضریب تغییر شکل جانبی در پایین ساخت..... ۲۲
شکل ۸-۲: مقادیر ضریب تغییر شکل جانبی و فشار آب حفره‌ای بر حسب ارتفاع خاکریز یا تنش قائم کل. ۲۵
شکل ۹-۲: تنش قائم در برابر کرنش در هسته در حین ساخت برای حالت خشک کوبیده شده..... ۲۷
شکل ۱۰-۲: تغییرات کرنش با تنش قائم موثر در حین ساخت برای مصالح خشک کوبیده شده. ۲۸
شکل ۱۱-۲: تغییرات مدول سکانتی با تنش قائم موثر در حین ساخت برای مصالح خشک کوبیده شده. ۲۹
شکل ۱۲-۲: تغییرات کرنش قائم برحسب ارتفاع در حین ساخت برای مصالح تر کوبیده شده. ۳۰
شکل ۱۳-۲: تغییرات کرنش قائم در هسته بر حسب ارتفاع در پایان ساخت برای خاکریزه‌ای شنی و ماسه ای کوبیده شده در طرف تر رطوبت بهینه..... ۳۱
شکل ۱۴-۲: تغییرات کرنش قائم در هسته بر حسب ارتفاع در پایان ساخت برای خاکریزه‌ای رسی، کوبیده شده در طرف تر رطوبت بهینه..... ۳۲
شکل ۱۵-۲: نشست هسته در حین ساخت در سدهای خاکی و سنگریزه‌ای ۳۴
شکل ۱۶-۲: بارگذاری نمونه سنگریز در ادئومتر ۳۶
شکل ۱۷-۲: منحنی‌های تراکم برای حالات خشک و تر و فرونشست مصالح در آزمایش ادئومتری ۳۸
شکل ۱۸-۲: مقادیر محاسبه شده مدول یانگ برای تحلیل برگشتی سد West Dam ۳۹
شکل ۱۹-۲: چهار اثر آبگیری روی سد سنگریزه‌ای ۴۱
شکل ۲۰-۲: تغییرات جانبی شیب بالادست در اثر اولین آبگیری ۴۴
شکل ۲۱-۲: چاه فشار شکن ۴۸
شکل ۲۲-۲: چاه‌های مشاهده‌ای ۴۹
شکل ۲۳-۲: فشارسنج الکتریکی ۵۱
شکل ۲۴-۲: سلول فشار هیدرولیکی ۵۱
شکل ۲۵-۲: اجزای مختلف دستگاه انحراف سنج..... ۵۳
شکل ۲۶-۲: دستگاه قرائت نشست و صفحه نشست عنکبوتی. ۵۴
شکل ۱-۳: محدوده جغرافیایی سد گتوند علیا ۵۶
شکل ۲-۳: سد گتوند ۵۹
شکل ۳-۳: شکل دره سد..... ۶۰
شکل ۴-۳: ناحیه بندی سد ۶۰
شکل ۵-۳: مقاطع اصلی عرضی ابزار بندی ۶۱
شکل ۱-۴: ایجاد پوسته توپوگرافی منطقه..... ۶۶
شکل ۲-۴: توپوگرافی ایجاد شده در برنامه ۶۶

شکل ۳-۴: هندسه الگوی ایجاد سده در برنامه.....۶۷
شکل الف-۴-۴: الگوی اجزاء محدود سد گتوند در حالات سه بعدی.....۶۸
شکل ب-۴-۴: الگوی اجزاء محدود مش بندی شده سد گتوند در حالات سه بعدی.....۶۸
شکل ۵-۴: لایه بندی بستر ۶۹
شکل ۶-۴: عضو چهار وجهی چهار گرهای.....۷۰
شکل ۷-۴: معیار تسلیم موهر – کلومب ۷۰
شکل ۸-۴: سطح تسلیم موهر – کولمب در فضای تنش‌های اصلی در فضای سه‌بعدی ۷۲
شکل ۹-۴: سطح تسلیم موهر–کولمب بر روی صفحه π و صفحه نیمساز ۷۲
شکل ۱۰-۴: زمانی که مقاومت برشی به حالت ماکزیمم می‌رسد(درزه ها و سنگریزه‌ها)، سطوح تنش تماسی واقعی بین سنگ‌ها بی نهایت بزرگ هستند، بدلیل ناحیه‌های تماسی کوچک ۷۳
شکل ۱۱-۴: آزمایش شیب (یا آزمایش برش تحت وزن) ۷۴
شکل ۱۲-۴: آزمایش شیب برای سنگریزه‌ها.....۷۴
شکل ۱۳-۴: آزمایش شیب در طول ۵ متر در حین دوران ساخت سد در ایتالیا.....۷۵
شکل ۱۴-۴: روش تجربی برای محاسبه زبری معادل R به عنوان یک تابع از تخلخل و صافی و گرد گوشه بودن. ۷۶
شکل ۱۵-۴: اثر اندازه ذرات بر مقاومت نقاط تماسی در سنگریزهها ۷۶
شکل ۱۶-۴: الگوی ساخته شده متقارن محوری برای پیمایش مصالح هسته ۷۸
شکل ۱۷-۴: نتایج پیمایش مصالح هسته (GC) در آزمایش UU تحت تنش همه جانبه ۰.۱ MPa.....۷۹
شکل ۱۸-۴: نتایج پیمایش مصالح هسته (GC) در آزمایش UU تحت تنش همه جانبه ۰.۴ MPa.....۸۰
شکل ۱۹-۴: نتایج پیمایش مصالح هسته (GC) در آزمایش UU تحت تنش همه جانبه ۰.۷ MPa.....۸۱
شکل ۲۰-۴: نتاج پیمایش مصالح هسته (GC) در آزمایش UU تحت تنش همه جانبه ۱ MPa ۸۲
شکل ۲۱-۴: نتاج پیمایش مصالح هسته (GC) در آزمایش CD تحت تنش همه جانبه ۰.۷ MPa.....۸۳
شکل ۲۲-۴: الگوی ساخته متقارن محوری برای پیمایش مصالح پوسته ۸۵
شکل ۲۳-۴: نمایی از تجهیزات دستگاه آزمایش سه‌محوری بزرگ مقیاس دانشگاه کالسروهه و نمونه ساخته شده ..۸۵
شکل ۲۴-۴: نتاج پیمایش مصالح پوسته در آزمایش CD تحت تنش همهجانبه ۰.۱ MPa.....۸۶
شکل ۲۵-۴: نتاج پیمایش مصالح پوسته در آزمایش CD تحت تنش همه جانبه ۱MPa ۸۷
شکل ۲۶-۴: نتاج پیمایش مصالح پوسته در آزمایش CD تحت تنش همه جانبه ۲MPa.....۸۸
شکل ۲۷-۴: مقایسه نتایج پیمایش زاویه اصطحکاک مصالح پوسته با الگوی موهر-کلومب و الگوی بارتون ۹۱
شکل ۱-۵: موقعیت مقاطع انتخابی برای مقایسه با تحلیل عددی.....۹۳
شکل ۲-۵: شرایط تکیه‌گاهی مرزهای الگو(تغییر مکان:D) ۹۶
شکل ۳-۵: مقایسه مقادیر نشست قبل و بعد اعمال سه دسته فراسنج با نتایج ابزار در محور I-۴-۳، هسته مقطع ۴-۴ ابزارگذاری ۹۹
شکل ۴-۵: روش نصب معمول فشار سنج در خوشه پنج‌تایی ۱۰۰
شکل ۵-۵: روش نصب سلول فشارسنج در سد گتوند و دستگاه شیارزن.....۱۰۰
شکل ۶-۵: نحوه نامگذاری سلول‌های فشارسنجی ۱۰۱
شکل ۷-۵: موقعیت مقاطع انتخابی ابزار دقیق ۱۰۲
شکل ۸-۵: موقعیت محور های نشست‌سنجی مقطع ابزارگزاری ۲-۲.....۱۰۳
شکل ۹-۵: جابجایی قائم مقطع ۲-۲ ابزارگذاری تا زمان رسیدن به تراز ۲۳۰ متر ۱۰۳
شکل ۱۰-۵: مقادیر جابجایی قائم محور I-۲-۳ ، هسته مقطع ۲-۲ ابزار بندی در ابزار و الگوی عددی.....۱۰۴
شکل ۱۱-۵: مقادیر جابجایی قائم محور I-۲-۱، پوسته بالادست مقطع ۲-۲ ابزار بندی در ابزار و الگوی عددی ۱۰۴

شکل ۱۲-۵: موقعیت سلول‌های فشارسنجی و پیزومترهای خاکریز مقطع ۲-۲ ابزارگذاری ۱۰۶
شکل ۱۳-۵: تراز تنش کل قائم در پایان تراز ۲۳۰متر، در مقطع ۲-۲ ابزارگذاری ۱۰۶
شکل ۱۴-۵: میزان فشار حفره‌ای داخل هست در پایان تراز ۲۳۰ متر در مقطع ۲-۲ ابزارگذاری ۱۰۷
شکل ۱۵-۵: مقایسه میزان فشار قائم نتایج ابزار و تحلیل عددی در تراز های خاکریزی ۱۴۸ متر، ۱۸۶ متر و۲۳۰ متر از خاکریزی در مقطع ۲-۲ ابزارگذاری.....۱۰۷
شکل ۱۶-۵: مقایسه میزان فشار حفره‌ای نتایج ابزار و تحلیل عددی در تراز های خاکریزی ۱۴۸ متر، ۱۸۶ متر و۲۳۰ متر از خاکریزی در هسته مقطع ۲-۲ ابزارگذاری ۱۰۸
شکل ۱۷-۵: مقایسه تاریخچه زمانی فشار خاکریز در سلول فشار ۱-۲-۲ و پیزومتر ۲-۲ با نتایج عددی حاصل شده ۱۰۹
شکل ۱۸-۵: موقعیت محورهای نشست‌سنجی مقطع ابزار گزاری ۴-۴ .....۱۰۹
شکل ۱۹-۵: جابجایی قائم مقطع ۴-۴ ابزارگذاری تا زمان رسیدن به تراز ۲۳۰ متر.....۱۱۰
شکل ۲۰-۵: مقادیر جابجایی قائم در محور ۳-۴-I، پوسته بالادست مقطع ۴-۴ ابزاربندی در ابزار و الگوی عددی۱۱۱
شکل ۲۱-۵: مقادیر جابجایی قائم در محور ۱-۴-I، پوسته بالادست مقطع ۴-۴ ابزاربندی در ابزار و الگوی عددی۱۱۱
شکل ۲۲-۵: مقادیر جابجایی قائم در محور ۵-۴-I، پوسته پایین‌دست مقطع ۴-۴ ابزاربندی در ابزار و الگوی عددی ۱۱۲
شکل ۲۳-۵: موقعیت سلول‌های فشارسنجی و پیزومترهای خاکریز مقطع ۴-۴ ابزارگذاری ۱۱۳
شکل ۲۴-۵: تراز تنش کل قائم در پایان تراز ۲۳۰ متر ۱۱۴
شکل ۲۵-۵: میزان فشار حفره‌ای داخل هست در پایان تراز ۲۳۰ متر در مقطع ۴-۴ ابزارگذاری ۱۱۴
شکل ۲۶-۵: مقایسه میزان فشار قائم نتایج ابزار و تحلیل عددی در تراز های خاکریزی ۱۱۲ متر، ۱۴۸ متر، ۱۸۶ متر و۲۳۰ متر از خاکریزی در هسته مقطع ۴-۴ ابزارگذاری ۱۱۵
شکل ۲۷-۵: مقایسه میزان فشار حفره‌ای نتایج ابزار و تحلیل عددی در تراز های خاکریزی ۱۱۲ متر، ۱۴۸ متر، ۱۸۶متر و۲۳۰ متر از خاکریزی در هسته مقطع ۴-۴ ابزار گذاری.....۱۱۶
شکل ۲۸-۵: مقایسه تاریخچه زمانی فشار خاکریز در سلول فشار ۱-۳-۴ و پیزومتر ۳-۴ با نتایج عددی حاصل شده ۱۱۶
شکل ۲۹-۵: ضریب قوس زدگی در وسط محور هسته مقطع ۴-۴ ابزارگذاری در تراز خاکریزی ۲۳۰ متر ۱۱۸
شکل ۳۰-۵: ضریب قوس زدگی در مقطع ۴-۴ ابزار گذاری در پایان ساخت.....۱۱۸
شکل ۳۱-۵: موقعیت محورهای نشست‌سنجی مقطع ابزارگزاری ۶-۶ .....۱۱۹
شکل ۳۱-۵: جابجایی قائم مقطع ۶-۶ ابزارگذاری تا زمان رسیدن به تراز ۲۳۰ متر.....۱۱۹
شکل ۳۲-۵: مقادیر جابجایی قائم در محور ۵-۶-I، پوسته پایین‌دست مقطع ۶-۶ ابزار بندی در ابزار و الگوی عددی ۱۲۰
شکل ۳۳-۵: مقادیر جابجایی قائم در محور ۳-۶-I، هسته مقطع ۶-۶ ابزار بندی در ابزار و الگوی.....۱۲۰
شکل ۳۴-۵: مقادیر جابجایی قائم در محور ۱-۶-I، پوسته بالادست مقطع ۶-۶ ابزار بندی در ابزار و الگوی عددی.۱۲۱
شکل ۳۵-۵: موقعیت سلول‌های فشار سنجی و پیزومترهای خاکریز مقطع ۶-۶ ابزار گذاری.....۱۲۲
شکل ۳۶-۵: تراز تنش کل قائم در پایان تراز ۲۳۰ متر در مقطع ۶-۶ ابزار گذاری ۱۲۳
شکل ۳۷-۵: میزان فشار حفره‌ای داخل هسته در پایان تراز ۲۳۰ متر در مقطع ۶-۶ ابزارگذاری.....۱۲۳
شکل ۳۸-۵: مقایسه میزان فشار قائم نتایج ابزار و تحلیل عددی در ترازهای خاکریزی ۱۴۸ متر، ۱۸۶ متر و۲۳۰ متر از خاکریزی در هسته مقطع ۶-۶ ابزار گذاری ۱۲۴
شکل ۳۹-۵: مقایسه میزان فشار حفره‌ای نتایج ابزار و تحلیل عددی در تراز های خاکریزی ۱۴۸ متر، ۱۸۶ متر و۲۳۰ متر از خاکریزی در هسته مقطع ۶-۶ ابزار گذاری ۱۲۵

شکل ۴۰-۵: مقایسه تاریخچه زمانی فشار خاکریز در سلول فشار ۱-۳-۶ و پیزومتر ۳-۶ با نتایج عددی حاصل شده ۱۲۶
شکل ۴۱-۵: جابجایی قائم محور هسته سد در آبگیری تا تراز ۱۶۵ متر ۱۲۷
شکل ۴۲-۵: جابجایی قائم محور پوسته پایین‌دست در آبگیری تا تراز ۱۶۵ متر ۱۲۸

شکل ۴۳-۵: جابجایی قائم محور پوسته بالادست در آبگیری تا تراز ۱۶۵ متر ۱۲۸
شکل ۴۴-۵: مقادیر جابجایی پس از آبگیری محور ۳-۲-I، ابزار و الگوی عددی ۱۲۹
شکل ۴۵-۵: مقادیر جابجایی پس از آبگیری محور ۱-۲-I، ابزار و الگوی عددی ۱۲۹
شکل ۴۶-۵: مقادیر جابجایی پس از آبگیری محور ۵-۲-I، ابزار و الگوی عددی ۱۳۰
شکل ۴۷-۵: جهت محور های اندازه‌گیری در لوله انحراف سنجی ۱۳۰
شکل ۴۸-۵: جابجایی افقی در جهت عمود بر محور سد پس از آبگیری تا تراز ۱۶۵ متر در مقطع ۲-۲ ابزارگزاری ۱۳۱.
شکل ۴۹-۵: مقایسه نتایج تغییر مکان افقی در محور ۳-۲-I پس از آبگیری تا تراز ۱۶۵ متر ۱۳۱
شکل ۵۰-۵: مقایسه نتایج تغییر مکان افقی در محور ۵-۲-I پس از آبگیری تا تراز ۱۶۵ متر ۱۳۲
شکل ۵۱-۵: جابجایی افقی در جهت طولی محور سد پس از آبگیری تا تراز ۱۶۵ متر در محور مرکزی هسته ۱۳۳
شکل ۵۲-۵: جابجایی افقی در جهت طولی محور سد پس از آبگیری تا تراز ۱۶۵ متر در محور پوسته بالادست ۱۳۳
شکل ۵۳-۵: جابجایی افقی در جهت طولی محور سد پس از آبگیری تا تراز ۱۶۵ متر در محور پوسته پایین‌دست.. ۱۳۴
شکل ۵۴-۵: مقایسه نتایج تغییر مکان افقی در محور ۱-۲-I پس از آبگیری تا تراز ۱۶۵ متر ۱۳۴
شکل ۵۵-۵: مقایسه نتایج تغییر مکان افقی در محور ۵-۲-I پس از آبگیری تا تراز ۱۶۵ متر ۱۳۵
شکل ۵۶-۵: تراز تنش کل قائم در تراز آبگیری ۱۶۵ متر، در مقطع ۲-۲ ابزارگذاری ۱۳۵
شکل ۵۷-۵: تراز فشار پیزومتری در آبگیری تا تراز ۱۶۵ متر، در مقطع ۲-۲ ابزارگذاری ۱۳۶
شکل ۵۸-۵: مقایسه میزان فشار قائم نتایج ابزار و تحلیل عددی در زمان آبگیری تا تراز ۱۶۵ متر در مقطع ۲-۲ ابزار گذاری ۱۳۶
شکل ۵۹-۵: مقایسه میزان فشار آب نتایج ابزار و تحلیل عددی در زمان آبگیری تا تراز ۱۶۵ متر در مقطع ۲-۲ ابزار گذاری ۱۳۷
شکل ۶۰-۵: مقادیر جابجایی پس از آبگیری در محور ۳-۴-I، ابزار و الگوی عددی ۱۳۸
شکل ۶۱-۵: مقادیر جابجایی پس از آبگیری در محور ۱-۴-I، ابزار و الگوی عددی ۱۳۸
شکل ۶۲-۵: مقادیر جابجایی پس از آبگیری در محور ۵-۴-I، ابزار و الگوی عددی ۱۳۹
شکل ۶۳-۵: مقایسه نتایج تغییر مکان افقی در محور ۱-۴-I پس از آبگیری تا تراز ۱۶۵ متر ۱۴۰
شکل ۶۴-۵: مقایسه نتایج تغییر مکان افقی در محور ۵-۴-I پس از آبگیری تا تراز ۱۶۵ متر ۱۴۰
شکل ۶۵-۵: تراز تنش کل قائم در تراز آبگیری ۱۶۵ متر، در مقطع ۴-۴ ابزارگذاری ۱۴۱
شکل ۶۶-۵: تراز فشار پیزومتری در آبگیری تا تراز ۱۶۵ متر، در مقطع ۴-۴ ابزارگذاری ۱۴۲
شکل ۶۷-۵: مقایسه میزان فشار قائم نتایج ابزار و تحلیل عددی در زمان آبگیری تا تراز ۱۶۵ متر در مقطع ۴-۴ ابزار گذاری ۱۴۲
شکل ۶۸-۵: مقایسه میزان فشار آب نتایج ابزار و تحلیل عددی در زمان آبگیری تا تراز ۱۶۵ متر در مقطع ۴-۴ ابزار گذاری ۱۴۳
شکل ۶۹-۵: مقادیر جابجایی پس از آبگیری در محور ۳-۶-I، ابزار و الگوی عددی ۱۴۴
شکل ۷۰-۵: مقادیر جابجایی پس از آبگیری در محور ۱-۶-I، ابزار و الگوی عددی ۱۴۴
شکل ۷۱-۵: مقادیر جابجایی پس از آبگیری در محور ۵-۶-I، ابزار و الگوی عددی ۱۴۵
شکل ۷۲-۵: مقایسه نتایج تغییر مکان افقی در محور ۱-۶-I پس از آبگیری تا تراز ۱۶۵ متر ۱۴۶

شکل ۷۳-۵: مقایسه نتایج تغییر مکان افقی در محور I-۶-۳ پس از آبگیری تا تراز ۱۶۵ متر ۱۴۷
شکل ۷۴-۵: مقایسه نتایج تغییر مکان افقی در محور I-۶-۵ پس از آبگیری تا تراز ۱۶۵ متر ۱۴۷
شکل ۷۵-۵: مقایسه نتایج تغییر مکان افقی در محور I-۶-۱ پس از آبگیری تا تراز ۱۶۵ متر ۱۴۸
شکل ۷۶-۵: مقایسه نتایج تغییر مکان افقی در محور I-۶-۳ پس از آبگیری تا تراز ۱۶۵ متر ۱۴۸
شکل ۷۷-۵: مقایسه نتایج تغییر مکان افقی در محور I-۶-۵ پس از آبگیری تا تراز ۱۶۵ متر ۱۴۹
شکل ۷۸-۵: تراز تنش کل قائم در تراز آبگیری ۱۶۵ متر، در مقطع ۶-۶ ابزار گذاری ۱۴۹
شکل ۷۹-۵: تراز فشار پیزومتری در آبگیری تا تراز ۱۶۵ متر، در مقطع ۶-۶ ابزار گذاری ۱۵۰
شکل ۸۰-۵: مقایسه میزان فشار قائم نتایج ابزار و تحلیل عددی در زمان آبگیری تا تراز ۱۶۵ متر در مقطع ۶-۶ ابزار گذاری ۱۵۰
شکل ۸۱-۵: مقایسه میزان فشار آب نتایج ابزار و تحلیل عددی در زمان آبگیری تا تراز ۱۶۵ متر در مقطع ۶-۶ ابزار گذاری ۱۵۱
شکل ۸۲-۵: وجود یک زائده در پوسه پایین‌دست تکیه‌گاه چپ ۱۵۵
شکل ۱-۶: تاریخچه زمانی شتاب نگاشت استفاده شده ۱۵۹
شکل ۲-۶: تغیر مکان کلی سد ۱۶۰
شکل ۳-۶: تغییر مکان در جهت عمود بر محور طولی سد ۱۶۰
شکل ۴-۶: تغییرمکان در جهت عمود بر محور طولی سد در مقطع حداکثر سد ۱۶۱
شکل ۵-۶: تغییر مکان در جهت قائم سد ۱۶۱
شکل ۶-۶: تغییر مکان در جهت قائم سد در مقطع حداکثر سد ۱۶۲
شکل ۷-۶: توزیع شتاب افقی در جهت افقی ۱۶۲
شکل ۸-۶: توزیع قائم شتاب افقی سد در مقطع حداکثر ۱۶۳
شکل ۹-۶: تاریخچه شتاب افقی تاج سد ۱۶۳
شکل ۱۰-۶: تاریخچه جابجایی افقی تاج سد ۱۶۴
شکل ۱۱-۶: مقدار فشار هیدرو دینامیک در پشت هسته ۱۶۵
شکل ۱۲-۶: مقایسه مقدار فشار هیدرو دینامیک در پشت هسته ۱۶۶
شکل ۱۳-۶: خطوط تراز فشار آب در حالت هیدرودینامیک ۱۶۶
شکل ۱۴-۶: خطوط تراز فشار آب در حالت پایدار ۱۶۷
شکل ۱۵-۶: خطوط تراز تنش کل در حالت فشار هیدرودینامیک ۱۶۷
شکل ۱۶-۶: خطوط تراز تنش کل در حالت پایدار ۱۶۸
شکل ۱۷-۶: مقدار Ru در دو حالت پایدار و دینامیک در هسته ۱۶۸
شکل الف-۱ جابجایی قائم مقطع ۲-۲ ابزارگذاری تا زمان رسیدن به تراز ۱۴۸ متر ۱۷۷
شکل الف-۲ جابجایی قائم مقطع ۲-۲ ابزارگذاری تا زمان رسیدن به تراز ۱۸۶ متر ۱۷۷
شکل الف-۳ جابجایی قائم مقطع ۴-۴ ابزارگذاری تا زمان رسیدن به تراز ۱۱۲ متر ۱۷۸
شکل الف-۴ جابجایی قائم مقطع ۴-۴ ابزارگذاری تا زمان رسیدن به تراز ۱۴۸ متر ۱۷۸
شکل الف-۵ جابجایی قائم مقطع ۴-۴ ابزارگذاری تا زمان رسیدن به تراز ۱۸۶ متر ۱۷۸
شکل الف-۶ جابجایی قائم مقطع ۶-۶ ابزارگذاری تا زمان رسیدن به تراز ۱۴۸ متر ۱۷۹
شکل الف-۷ جابجایی قائم مقطع ۶-۶ ابزارگذاری تا زمان رسیدن به تراز ۱۸۶ متر ۱۷۹
شکل الف-۸ جابجایی افقی مقطع ۲-۲ ابزارگذاری تا زمان رسیدن به تراز ۲۳۰ متر ۱۷۹
شکل الف-۹ جابجایی افقی مقطع ۴-۴ ابزارگذاری تا زمان رسیدن به تراز ۲۳۰ متر ۱۸۰
شکل الف-۱۰ جابجایی افقی مقطع ۶-۶ ابزارگذاری تا زمان رسیدن به تراز ۲۳۰ متر ۱۸۰

شکل الف-۱۱ جابجایی افقی در جهت محور طولی سد در هسته تا زمان رسیدن به تراز ۲۳۰ متر ۱۸۰
شکل الف-۱۲ جابجایی افقی مقطع ۲-۲ ابزارگذاری تا زمان رسیدن به تراز آبگیری ۲۳۰ متر ۱۸۱
شکل الف-۱۳ جابجایی افقی مقطع ۴-۴ ابزارگذاری تا زمان رسیدن به تراز آبگیری ۲۳۰ متر ۱۸۱
شکل ب-۱ تنش کل در تراز خاکریزی ۱۴۸ متر در مقطع ۲-۲ ابزار گذاری ۱۸۲
شکل ب-۲ فشارآب حفره‌ای در تراز خاکریزی ۱۴۸ متر در هسته مقطع ۲-۲ ابزارگذاری..... ۱۸۲
شکل ب-۳ تنش کل در تراز خاکریزی ۱۸۶ متر در مقطع ۲-۲ ابزارگذاری ۱۸۳
شکل ب-۴ فشارآب حفره‌ای در تراز خاکریزی ۱۸۶ متر در هسته مقطع ۲-۲ ابزارگذاری..... ۱۸۳
شکل ب-۵ تنش کل پس از آبگیری تا تراز ۲۳۰ متر در مقطع ۲-۲ ابزارگذاری..... ۱۸۳
شکل ب-۶ فشار آب پس از آبگیری تا تراز ۲۳۰ متر در مقطع ۲-۲ ابزارگذاری..... ۱۸۴
شکل ب-۷ تنش کل در تراز خاکریزی ۱۱۲ متر در مقطع ۴-۴ ابزارگذاری ۱۸۴
شکل ب-۸ فشارآب حفره‌ای در تراز خاکریزی ۱۱۲ متر در هسته مقطع ۴-۴ ابزارگذاری..... ۱۸۴
شکل ب-۹ تنش کل در تراز خاکریزی ۱۴۸ متر در مقطع ۴-۴ ابزارگذاری ۱۸۵
شکل ب-۱۰ فشارآب حفره‌ای در تراز خاکریزی ۱۴۸ متر در هسته مقطع ۴-۴ ابزارگذاری..... ۱۸۵
شکل ب-۱۱ تنش کل در تراز خاکریزی ۱۸۶ متر در مقطع ۴-۴ ابزارگذاری ۱۸۵
شکل ب-۱۲ فشارآب حفره‌ای در تراز خاکریزی ۱۸۶ متر در هسته مقطع ۴-۴ ابزار گذاری..... ۱۸۶
شکل ب-۱۳ تنش کل پس از آبگیری تا تراز ۲۳۰ متر در مقطع ۴-۴ ابزار گذاری ۱۸۶
شکل ب-۱۴ فشار آب پس از آبگیری تا تراز ۲۳۰ متر در مقطع ۴-۴ ابزارگذاری..... ۱۸۶
شکل ب-۱۵ تنش کل در تراز خاکریزی ۱۴۸ متر در مقطع ۶-۶ ابزارگذاری ۱۸۷
شکل ب-۱۶ فشار آب حفره‌ای در تراز خاکریزی ۱۴۸ متر در هسته مقطع ۶-۶ ابزارگذاری ۱۸۷
شکل ب-۱۷ تنش کل در تراز خاکریزی ۱۸۶ متر در مقطع ۶-۶ ابزارگذاری..... ۱۸۷
شکل ب-۱۸ فشار آب حفره‌ای در تراز خاکریزی ۱۸۶ متر در هسته مقطع ۶-۶ ابزارگذاری ۱۸۸
شکل ب-۱۹ تنش کل پس از آبگیری تا تراز ۲۳۰ متر در مقطع ۶-۶ ابزارگذاری ۱۸۸
شکل ب-۲۰ فشار آب پس از آبگیری تا تراز ۲۳۰ متر در مقطع ۶-۶ ابزارگذاری..... ۱۸۸

فهرست جداول

جدول ۱-۱: تغییر شکل قائم انواع سدهای خاکی متراکم شده حین ساخت..... ۱۳
جدول ۱-۲: تغییر شکل جانبی پس از ساخت در هسته سدهای سنگریزه‌ای با هسته مرکزی قائم ۲۱
جدول ۲-۲: شاخص‌هایی که باید رفتارسنجی شوند و ابزار معمول مربوطه ۴۶
جدول ۳-۲: عوامل موثر بر شاخص‌های رفتارسنجی ۴۷
جدول ۴-۲: مزایا و معایب انواع پیزومترها ۵۰
جدول ۱-۳: مشخصات بدنه. ۵۸
جدول ۲-۳: مشخصات مخزن ۵۹
جدول ۳-۳: موقعیت لوله های انحراف‌سنجی برای نصب نشست‌سنج ۶۲
جدول ۴-۳: لیست انحراف سنج‌های نصب شده در مقاطع مختلف ابزار بندی. ۶۳
جدول ۱-۴: فراسنج‌های استفاده شده برای مصالح هسته ۸۳
جدول ۲-۴: فراسنج‌های بدست آمده برای مصالح فیلتر و زهکش..... ۸۴
جدول ۳-۴: فراسنج‌های بدست آمده برای مصالح پوسته از الگوی موهر کلومب ۸۹
جدول ۴-۴: فراسنج‌های بدست آمده برای مصالح پوسته از نظریه بارتون..... ۹۰
جدول ۵-۴: فراسنج‌های بدست آمده برای بستر ۹۱
جدول ۱-۵: برنامه زمانی مراحل ساخت بدنه..... ۹۴
جدول ۲-۵: مقادیر اصلاح شده نشست محور I-۲-۳ ..... ۹۷
جدول ۳-۵: مقادیر اصلاح شده نشست محور I-۴-۳ ..... ۹۷
جدول ۴-۵: مقادیر اصلاح شده نشست محور I-۶-۳ ..... ۹۸
جدول ۵-۵: موقعیت سلول‌های فشارسنجی قائم و پیزومترهای خاکریز مقطع ۲-۲ ابزارگذاری ۱۰۵
جدول ۶-۵: موقعیت سلول‌های فشارسنجی قائم و پیزومترهای خاکریز مقطع ۴-۴ ابزارگذاری ۱۱۳
جدول ۷-۵: ضریب قوس‌زدگی در محور هسته در تراز خاکریزی ۲۳۰ متر ۱۱۷
جدول ۸-۵: موقعیت سلول‌های فشار سنجی و پیزومترهای خاکریز مقطع ۶-۶ ابزارگذاری ۱۲۲

فصل اول:

مقدمه و کلیات

۱–۱ مقدمه

از دیرباز تا کنون برای اهدافی نظیر کشاورزی، تامین آب آشامیدنی، تولید انرژی، کنترل سیلاب و مصارف تفریحی سدها ایجاد شده‌اند. سد سازی درکشور ما نیز به دلیل کم آب بودن بیشتر نقاط کشور، موقعیت رودخانه های دائمی و فصلی، کنترل سیلابها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد. این مسئله اهمیت روز افزون طراحی، ساخت و پیشرفت در زمینه صنعت سد سازی را دو چندان آشکار می‌کند.

از قابلیت های اساسی یک سد این است که می تواند حجم زیادی از آب را پشت خود ذخیره کند. آب در شرایط حاضر یک عنصر اساسی در پیشرفت و تحرک اقتصادی یک منطقه به حساب می آید[۱]. اکثریت سدهای اولیه بتنی بودند تا اینکه از سال ۱۹۳۰ با پیشرفت علم مکانیک خاک و آگاهی به رفتار خاک و نیز بهبود ماشین آلات حمل و تراکم سد خاکی به عنوان اولین گزینه در صنعت سد سازی جهان مطرح شد. بهبود روشهای کنترل پایداری، استفاده از تنش موثر و اندازه گیری فشار آب حفرهای باعث ایمن شدن ساخت سدهای خاکی شد. با وجود این پیشرفت‌ها لغزشهایی نیز روی داده است که می‌توان مثال‌های متعددی را برای آن ارائه کرد و این نشان می‌دهد که نیازمند تدوین روشهای جدیدی در کنترل و اجرا هستی.

بر اساس مطالعات کمیته بین المللی سدهای بزرگ[۱]، علل خرابی سده‌ها را می‌توان اینگونه تقسیم بندی کرد [۲].

- تراوش[۲]، رگاب و فشار حفره‌ای ٪۳۸
- سرریز شدن آب ٪۳۵
- مشکلات پی ٪۲۱
- عوامل دیگر.٪۶

خرابی در سدهای خاکی بجز عوامل غیرمترقبه مانند زلزله و سیلاب و ... همیشه با هشدارهای نگران کننده‌ای از قبیل روند افزایش فشار های حفره ای، تغییر شکل‌ها، نشست‌ها، ترک خوردگی و عدم پیوستگی کرنش‌ها همراه بوده است. حال برای بررسی روند این تغییرات، علل

[۱] ICOLD
[۲] Seepage

احتمالی آنها و پیشامد های احتمالی، در نظر گرفتن مراحل زیر در زمان ساخت و بهره برداری از سدها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد:

۱) ابزارگذاری در سدها بمنظور بررسی روند تغییر شکل ها، فشار های حفرهای و... ،

۲) ثبت اطلاعات ابزار به صورت دوره‌ای متناسب با ابزار مربوطه،

۳) بررسی نحوه تغییرات، بخصوص تغییرات غیر مترقبه. تشخیص علل بروز آن.

از آنجایی که چگونگی رفتار سد در زمان ساخت و اولین آبگیری می‌توانند تصویر روشنی از رفتار آن در زمان بهره برداری ارائه‌کند، بنابرین رفتار سنجی سد در این مقاطع حساس از زمان عمر سد می تواند تصویری واقعی ار رفتار آن در آینده ایجاد کند.

۱–۲ ضرورت تحقیق

سدهای خاکی/ سنگریزه‌ای بدلیل مزایای فراوانی که در مقایسه با سایر انواع سدها دارند (مزایایی از جمله، پائین بودن هزینه های اجرایی، سرعت و سهولت در اجرا، قابلیت اجرا روی انواع پی ها و...) همواره در معرض توجه بوده‌اند و تاکنون تحقیقات گسترده ای در زمینه های گوناگون بر روی این نوع از سدها صورت گرفته است. این نوع از سدها در کنار تمام مزایایی که دارند محدودیتهایی نیز در اجرایشان وجود دارد، از جمله این محدودیت ها محدودیت هندسی (شکل و نوع) دره، در تمامی مراحل انجام کار یک سد از مطالعات اولیه و انتخاب ساختگاه گرفته تا اجرا و رفتار سد در طول عمر آن تأثیرگذار است. لذا لازم است که این شاخص به طور موثر و همه جانبه در کلیه مراحل لحاظ شود. ممکن است با توجه به تحقیقاتی که تاکنون صورت گرفته میزان تاثیر این عامل بر مراحل مختلف تا حدودی مشخص باشد، اما به طور معمول به شکل موثری در تحلیل و طراحی لحاظ نمی‌شود. دره های تنگ، زائده‌های موجود در بدنه سد و حفاری‌های زیر سد از شرایطی هستند که همواره به عنوان چالشی برای احداث سدهای خاکی محسوب می‌شوند.

۱–۳ هدف تحقیق

در این تحقیق سعی شده رفتار سد سنگریزه‌ای از لحاظ تغییر شکل و نشست در زمان ساخت و آبگیری مورد بررسی قرار گرفته و به عنوان مطالعه موردی نیز سد سنگریزه‌ای گتوند علیا مورد بررسی قرار گرفته، همچنین الگو سازی توپوگرافی منطقه که دارای حفاری های زیاد در قسمت زیر هسته می‌باشد و بررسی تأثیرات توپوگرافی بر رفتار سد نیز مورد بررسی قرار گرفته. الگو سازی توسط

نرم افزار ژئوتکنیکی Midas GTS انجام شده است. روش حل عددی در این برنامه اجزاء محدود می‌باشد و برنامه قادر به تحلیل همزمان جریان آب و تغییر شکل خاک با استفاده از الگوهای رفتاری خطی و غیر خطی می‌باشد. ایجاد هندسه اولیه سد، اعمال شرایط مرزی و اولیه از مراحل کار در این برنامه می‌باشد.

درکل اهدافی را که در این تحقیق دنبال می‌کنیم می‌توان اینگونه تقسیم بندی کرد:

- ❖ تحلیل عددی دقیق سد،
- ❖ ارزیابی نتایج حاصله از الگوی سازی ها و مقایسه با نتایج ابزار،
- ❖ علت یابی اختلافات میان دو سری نتایج حاصل شده.

۱-۴ ساختار تحقیق

پایان نامه شامل هفت فصل می‌باشد که:

در فصل دوم رفتار کلی در شرایط ساخت و آبگیری مورد بررسی قرار گرفته و در آخر نیز مختصری در مورد رفتار نگاری در سدها صحبت شده است. در فصل سوم به معرفی سد مورد مطالعه و معرفی شبکه رفتار نگاری آن اختصاص یافته. در فصل چهارم چگونگی تهیه الگوی عددی سد مذکور بیان شده است. فصل پنجم به نتایج حاصل شده از الگوی عددی و مقایسه آن با نتایج ابزار اختصاص یافته. فصل ششم نتایج آنالیز دینامیکی سد آورده شده است. فصل هفتم نتایج بدست آمده و پیشنهادات آتی ارائه شده و در آخر، به معرفی منابع مورد استفاده در این تحقیق پرداخته شده است.