دانشکده مهندسی عمران

گروه خاک و پی

پایان نامه

برای دریافت درجه کارشناسی ارشد در رشته مکانیک خاک و پی

عنوان

تحلیل و بررسی رفتار سدهای خاکی در حین اولین آبگیری

مطالعه موردی سد علویان

استاد راهنما

دکتر جمشید صدر کریمی

استاد مشاور

دکتر غلام مرادی

پژوهشگر

سولماز دارسنج

بهمن ۱۳۸۸

بسم الله الرحمن الرحيم

نام خانوادگی : دارسنج **نام** : سولماز

عنوان پایان نامه

تحلیل و بررسی رفتار سدهای خاکی در حین اولین آبگیری – مطالعه موردی سد علویان

استاد راهنما : دکتر جمشید صدر کریمی

استاد مشاور : دکتر غلام مرادی

مقطع تحصیلی : کارشناسی ارشد **گرایش** : مکانیک خاک و پی **دانشگاه** : تبریز

دانشکده : مهندسی عمران **تاریخ فارغ التحصیلی**: بهمن ۱۳۸۸ **تعداد صفحه** : ۱۳۱

کلید واژه ها : سد خاکی ، اولین آبگیری ، تحلیل عددی ، رفتار نگاری

چکیده :

بررسی رفتار سدهای خاکی در طول مراحل ساخت و اولین آبگیری دارای اهمیت بالایی از نظر ارزیابی پایداری و ایمنی سد است ؛ چرا که قسمت عمده ی تغییرشکل ها و عوارض احتمالی سد در دوران ساخت و پر کردن مخزن برای اولین بار رخ می دهند. بر اساس تجربه ، چنان چه سدی در این مراحل با مشکلات جدی مواجه نگردد ، در تمام عمر بهره برداری خود نیز پایدار و ایمن خواهد ماند.

پروژه ی حاضر ، به بررسی رفتار سدهای خاکی در حین اولین آبگیری می پردازد. برای این منظور رفتار سد خاکی علویان واقع در شمال غربی ایران به ارتفاع ۷۶ متر در طول مراحل ساخت و اولین آبگیری ، توسط تحلیل های عددی و تکنیک تحلیل برگشتی مورد مطالعه قرار گرفته است. جهت اعتبار بخشی به نتایج تحلیل های صورت گرفته ، به نتایج قرائت های ابزار دقیق نصب شده در بدنه ی سد استناد می گردد.

تحلیل ها به صورت دو بعدی و در حالت کرنش مسطح بوده و نرم افزار مورد استفاده ، FLAC 2D می باشد. ابتدا با مدل سازی سد ، بر اساس تاریخچه ی واقعی ساخت و آبگیری (در سد علویان پیش از پایان ساخت ، آبگیری انجام شده است) و انجام تحلیل های برگشتی ، رفتار مدل عددی کالیبره شده است. به طور کلی تطابق خوبی میان نشست ها و تنش های محاسباتی و اندازه گیری شده پس از انجام تحلیل های برگشتی ملاحظه می گردد. سپس به منظور مطالعه ی دقیق تر تاثیر آبگیری سد بر تنش ها و کرنش ها ، با استفاده از پارامترهای حاصل از تحلیل برگشتی ، در مدل دیگری ، آبگیری پس از اتمام ساخت شبیه سازی شده و تغییرات ناشی از آن در رفتار سد ارزیابی گردیده است. بدین ترتیب روند تغییرات تغییرمکان های قائم و افقی و تنش های کل سد در پایان ساخت و مرحله ی آبگیری و نیز تغییرات نسبت قوس زدگی مورد بررسی قرار گرفته است.

تقدیم به

پدر و مادر عزیزم

و خانواده مهربانم

تقدیر و تشکر

شایسته است از زحمات استاد ارجمندم ، آقای دکتر جمشید صدر کریمی که در مراحل مختلف انجام این تحقیق ، از راهنمایی های ارزشمند ایشان بهره مند شده ام و نیز آقای دکتر غلام مرادی و آقای دکتر حاجی علیلو کمال تشکر و قدردانی را داشته باشم.

همچنین از کارکنان محترم سازمان آب منطقه ای استان آذربایجان شرقی به دلیل مساعدت بسیار سپاسگذارم.

از دوستان بسیار عزیزم خانم ها ، مهندس الهام محمدی و مهندس اعظم فتانی که در طول انجام تحقیق یاور اینجانب بوده اند تقدیر و تشکر می نمایم.

در خاتمه از کلیه افرادی که در مراحل مختلف زندگی راهنما ، مشوق و همراهم بوده اند ، قدردانی می-نمایم.

فهرست مطالب

عنوان.....صفحه

فصل اول : مقدمه

۱-۱ مقدمه..... ۲

۱-۲ ضرورت تحقیق ۳

۱-۳ مروری کوتاه بر فصول پایان نامه ۴

فصل دوم : کلیات و مطالعات موردی

۲-۱ کلیاتی در خصوص تغییرشکل سدهای خاکی و سنگریزه ای..... ۶

۲-۱-۱ مقدمه ۶

۲-۱-۲ تغییرشکل سدهای خاکی در اثر بارهای استاتیکی ۷

۲-۱-۲-۱ تغییرشکل ناشی از بار مرده ۷

۲-۱-۲ تغییرشکل های ناشی از آبگیری ۱۰

۲- ۱ -۳ تغییرشکل های بلند مدت ۱۴

۲-۲ تبعیت اندازه گیری ها از یک الگوی پیوسته و تفسیر رفتار سدهای خاکی ۱۴

۲-۳ نکاتی در خصوص تفسیر پروفیل های نشست سدهای خاکی ۱۹

۲-۲-۱ معیارهای تفسیر ۲۰

۲-۲-۳ کاربرد معیارهای تفسیر ۲۱

۲-۳ مطالعات موردی ۲۵

۲-۳-۱ مروری بر سد Beliche ۲۵

۲-۳-۲ سد مسجد سلیمان ۳۴

۲-۳-۳ سد شیرین دره ۳۹

۲-۳-۴ سد Mornos ۴۲

۲-۳-۵ فشار حفره ای در سد در حین ساخت و آبگیری ۴۹

فصل سوم : مواد و روش ها

۳-۱ معرفی سد علویان ۵۷

۳-۱-۱ موقعیت جغرافیایی و اهداف طرح ۵۷

۳-۱-۲ مشخصات کلی سد ۵۸

۳-۱-۳ سیستم ابزاربندی سد علویان ۶۱

۳-۲ معرفی نرم افزار FLAC 2D ۶۸

۳-۲-۱ مقدمه ۶۸

۳-۲-۲ قابلیت های برنامه ۶۸

۳-۲-۳ مکانیک استفاده از FLAC ۷۰

۳-۲-۴ تفاضل محدود ۷۰

۳-۲-۵ آنالیز پلاستیک ۷۱

۳-۲-۶ معرفی مدل های رفتاری موجود در نرم افزار ۷۳

۳-۳ تئوری مدل ویسکوپلاستیک برگرز ۷۴

۳-۴ معادله ی دیفرانسیل تغییر شکل مدل ویسکوالاستیک برگرز ۸۰

۳-۵ ثوابت ویسکوالاستیک و تعیین آنها ار نتایج آزمایشگاهی ۸۱

۳-۶ استخراج پارامترهای مورد استفاده در مدل عددی برای سد علویان ۸۳

۳-۶-۱ پارامترهای لازم در مدل ویسکوپلاستیک برگرز برای هسته ی سد ۸۳

۳-۶-۲ پارامترهای مورد استفاده در مدل موهر کولمب برای پوسته ۸۸

۳-۶-۳ پارامترهای مورد استفاده در مدل الاستیک خطی در پی ۸۹

۳-۷ روند مدلسازی مراحل ساخت و آبگیری سد علویان به کمک نرم افزار FLAC ۸۹

۳-۷-۱ ایجاد هندسه ی مدل ۹۱

۳-۷-۲ تخصیص مصالح ، ساخت لایه ای و آبگیری ۹۵

فصل چهارم : نتایج و بحث

۴-۱ تحلیل برگشتی ۱۰۰

۴-۲ خروجی های نرم افزار ۱۰۸

۴-۲-۱ خروجی های نشست ۱۰۸

۴-۲-۲ تغییرمکانهای افقی سد..... ۱۱۷

۴-۲-۳ تنش های کل ۱۲۰

فصل پنجم : نتیجه گیری و ارائه پیشنهادات

۵-۱ نتیجه گیری ۱۲۶

۵-۲ پیشنهادات برای تحقیقات آتی ۱۲۸

فهرست مراجع.....۱۲۹

فهرست اشکال

عنوان.....صفحه

سد سنگریزه ای با هسته ی رسی بر روی سنگ بستر صلب،نشست های هسته در اثر بار مرده..... شکل ۲-۱ ۸

شکل ۲-۲ سد سنگریزه ای با هسته ی رسی بر روی پی صلب ، توزیع تنش ها در مقطع تحتانی سد..... ۹

شکل ۲-۳ محل نیروی برآیند بار آب پس از آبگیری (ساده شده). الف) سد سنگریزه ای با آب بندی داخلی ب) سد سنگریزه ای با رویه ی آب بند..... ۱۰

شکل ۲-۴ سد سنگریزه ای با هسته ی رسی بر روی پی صلب. تغییر مکانهای افقی هسته در اثر بار مرده و آبگیری..... ۱۱

شکل ۲-۵ طرح هندسی مورد استفاده برای شبیه سازی مراحل ساخت و آبگیری در شرایط کرنش مسطح..... ۱۷

شکل ۲-۶ توزیع فشار حفره ای محاسباتی در پایان ساخت در هسته در امتداد یک محور افقی الف) با درنظر گرفتن ناهمگنی در مصالح ب) سد همگن..... ۱۸

شکل ۲-۷ توزیع فشار حفره ای محاسباتی در هسته در امتداد محور افقی برای $v/k=1\times10^3$ الف) در پایان ساخت ب) در حین آبگیری. با در نظر گرفتن ناهمگنی مصالح..... ۱۹

شکل ۲-۸ سد Beliche الف) سطح مقطع اصلی ب) پروفیل نشست در حین ساخت پ) تنشهای کل نرمال در هسته در تراز ۱۲/۵ متری..... ۲۳
شکل ۲-۹ سد Kastraki الف) سطح مقطع اصلی ب) پروفیل نشست در حین ساخت پ) تنشهای کل نرمال در هسته در تراز ۲۲/۵ متری..... ۲۴
شکل ۲-۱۰ بخشی از ابزار بندی سد Beliche..... ۲۶
شکل ۲-۱۱ الف) تغییرمکان ها در شیب سنج I1 ب) نشست ها در شیب سنج I3 پ) نشست ها در شیب سنج I6 (خط چین ها مقادیر اندازه گیری و خطوط پر مقادیر پیش بینی شده می-باشند)..... ۲۸
شکل ۲-۱۲ تنش های نرمال در تراز ۱۲/۵ متر (خطوط پر تنش های محاسباتی و فشار های حفره ای فرضی هستند)..... ۲۹
شکل ۲-۱۳ تغییرمکان های قائم محاسباتی و اندازه گیری شده در شیب سنج های الف) I1 ب) I3 پ) I6 در حین ساخت و آبگیری A تا E..... ۳۱
شکل ۲-۱۴ تغییرات تغییرمکان های الف) قائم ب) افقی با زمان در نشانه گرهای M54 ، J54 و J40..... ۳۳
شکل ۲-۱۵ تنش های الف) نرمال ب) افقی در مراحل ساخت و آبگیری در مقطع افقی از تراز ۱۳ متری از پی..... ۳۳
شکل ۲-۱۶ مقایسه ی توزیع نشست های محاسبه شده و اندازه گیری شده در مرکز هسته ی سد مسجد سلیمان در پایان آبگیری تا تراز الف) MASL ۳۵۵ ب) MASL ۳۳۰..... ۳۷

شکل ۲-۱۷ مقایسه ی تنش های کل حداکثر محاسبه شده و اندازه گیری شده در هسته و پوسته ی پایین دست سد مسجد سلیمان در رقوم MASL ۲۳۰ در پایان آبگیری تا تراز الف) MASL ۲۵۵ ب) MASL ۳۵۵.....۳۸

شکل ۲-۱۸ مقایسه ی نشست های محاسباتی و تجربی پایان ساخت سد شیرین دره در شیب سنج های INC 5-1 ، INC5-2 و MS5-1 .....۴۰

شکل ۲-۱۹ مقایسه ی نشست های محاسباتی و تجربی سد شیرین دره پس از آبگیری در شیب سنج INC 5-1.....۴۰

شکل ۲-۲۰ مقایسه ی تنش های کل نرمال محاسباتی و اندازه گیری شده در سد شیرین دره.....۴۱

شکل ۲-۲۱ محل ایستگاههای کنترل در تاج سد Mornos.....۴۳

شکل ۲-۲۲ تغییرمکان های قائم مشاهده شده در ایستگاه کنترل S20 واقع در میانه ی تاج سد Mornos و ایستگاه S28 در انتهای تاج ۴۴

شکل ۲-۲۳ تغییرمکان های قائم برآورد شده توسط ابزار در تاج سد Mornos برای پایان ساخت در سال ۱۹۷۸ (لوزی) ، تکمیل اولین آبگیری در سال ۱۹۸۲ (مثلث) و چهار سال پس از آبگیری در سال ۲۰۰۶ (دایره).....۴۵

شکل ۲-۲۴ تغییرمکان های قائم اندازه گیری شده در گالری سد Morrnos برای دوره های ۱۹۷۸-۱۹۷۷ (لوزی) ، ۱۹۹۸-۱۹۷۷ (مثلث) و ۲۰۰۴-۱۹۷۷ (دایره).....۴۶

شکل ۲-۲۵ نشست های داخلی ثبت شده در مقطع مرکزی سد Morrnos ،در لایه های پایین (دایره) و لایه های بالا (مثلث) برای دوره ی ۱۹۹۰-۱۹۷۳ و ۱۹۹۰-۱۹۷۶.....۴۷

شکل ۲-۲۶ تغییرمکان های به دست آمده در تاج سد Mornos در سطح مقطع ۶-۶ با ترازیابی دقیق در ایستگاه S20 (لوزی) ، شیب سنج واقع در سه متری زیر تاج (مثلث) و آنالیز المان

محدود.....

..... ۴۸

شکل ۲-۲۷ تغییرات فشار حفره ای در مقطع ۵-۵ و تراز ۱۰۷ متر در سد کرخه الف) در پایین دست ب) ناحیه ی مرکزی پ) بالادست ت) درون هسته.....۵۲

شکل ۲-۲۸ تغییرات فشار آب حفره ای در مقطع ۵-۵ سد کرخه در تراز ۱۰۷ متری در ترازهای مختلف خاکریزی.....۵۳

شکل ۲-۲۹ تغییرات فشار حفره ای در مقطع ۵-۵ سد کرخه در تراز (masl) ۱۰۷ هنگامی که ارتفاع خاکریز الف) به ۱۵۷ برسد (تنها در اثر ساخت) ب) به (masl) ۱۸۷ برسد (تنها در اثر ساخت) پ) به (masl) ۲۰۷ برسد (آبگیری و ساخت) ت) به (masl) ۲۲۷ برسد (آبگیری و ساخت)

.....

۵۴

شکل ۲-۳۰ تغییرات فشار حفره ای در مقطع ۵-۵ سد کرخه در تراز (masl) ۱۰۷ زمانی که تراز خاکریزی به (masl) ۱۸۷ برسد.....۵۵

شکل ۲-۳۱ تغییرات فشار حفره ای در مقطع ۵-۵ سد کرخه در تراز (masl) ۱۰۷ زمانی که تراز خاکریزی به (masl) ۲۱۷ برسد.....۵۵

شکل ۳-۱ محور مرکزی سد علویان در پلان.....۵۷

شکل ۳-۲ پروفیل تشکیلات پی و محل مقاطع ابزار بندی سد علویان.....۶۰

شکل ۳-۳ شبکه ی نقاط ژئودزی سد علویان.....۶۲

شکل ۳-۴ مقطع شماره ی سه سد علویان به همراه ابزارگذاری.....۶۳

شکل ۳-۵ شیوه کلی حل مساله در FLAC.....۷۲

شکل ۳-۶ طرح شماتیک مدل برگرز.....۸۱

شکل ۳-۷ منحنی کرنش - زمان برای نمونه ی استخراج شده از عمق ۲۳ متری از قرضه ی BSL1 در آزمایش تحکیم و فشار سربار $0/25\ kg/cm^2$.....۸۵

شکل ۳-۸ نمودار تغییرات log q در مقابل زمان و برازش خطی.....۸۶

شکل ۳-۹ پیشرفت فیزیکی ساخت بدنه ی سد علویان و آبگیری مخزن.....۹۰

شکل ۳-۱۰ تغییرات نشست در محور مرکزی هسته به ازای ابعاد مختلف پی.....۹۳

شکل ۳-۱۱ نمایی از شبکه ی المان های ایجاد شده توسط FLAC2D.....۹۵

شکل ۴-۱ مقایسه ی نشست های محاسباتی پوسته ی بالادست با نشست های اندازه گیری شده در محل شیب سنج ۳۰۰۱ به ازای مقادیر مختلف مدول الاستیک.....۱۰۱

شکل ۴-۲ مقایسه ی نشست های محاسباتی پوسته ی پایین دست با نشست های اندازه گیری شده در محل شیب سنج ۳۰۰۳ به ازای مقادیر مختلف مدول الاستیک.....۱۰۲

شکل ۴-۳ مقایسه ی نشست های محاسباتی و اندازه گیری شده در پوسته های بالادست (شیب سنج ۳۰۰۱) و پایین دست (شیب سنج ۳۰۰۳).....۱۰۳

شکل ۴-۴ مقایسه ی نشست های محاسباتی هسته با نشست های تجربی در محل شیب سنج ۳۰۰۲ و در تاریخ ۹۶/۶/۱۸ به ازای معادلات مختلف تغییر مدول الاستیک با فشار سربار.....۱۰۵

شکل ۴-۵ مقایسه نشستهای اندازه گیری شده و محاسباتی در امتداد شیب سنج ۳۰۰۲ واقع در هسته.....۱۰۶

شکل ۴-۶ مقایسه ی تنشهای محاسباتی در سلولهای فشار ۳۳۱ ، ۳۳۲ و ۳۳۳ واقع در تراز ۱۵۲۳ در هسته.....۱۰۷

شکل ۴-۷ پروفیل نشست محاسباتی هسته در پایان ساخت و آبگیری در امتداد محور مرکزی هسته..... ۱۱۰
شکل ۴-۸ نسبت تنش های قائم به تنش های افقی در محور مرکزی سد..... ۱۱۱
شکل ۴-۹ پروفیل نشست پوسته محاسباتی بالادست در پایان ساخت و پس از آبگیری در محل شیب سنج ۳۰۰۱..... ۱۱۴
شکل ۴-۱۰ نشست های محاسباتی در پوسته پایین دست در امتداد شیب سنج ۳۰۰۳ در پایان ساخت و آبگیری..... ۱۱۵
شکل ۴-۱۱ نشست قائم بدنه سد در پایان ساخت در مقطع ۳-۳ سد..... ۱۱۶
شکل ۴-۱۲ نشست قائم بدنه سد پس از خاکریزی تا تراز ۱۵۵۰ متر..... ۱۱۶
شکل ۴-۱۳ تغییر مکان افقی محاسباتی در مقطع عرضی عبوری از کف سد در پایان ساخت و آبگیری..... ۱۱۷
شکل ۴-۱۴ تغییرات تغییر مکان افقی در محور مرکزی هسته..... ۱۱۸
شکل ۴-۱۵ تغییرشکل افقی سد علویان پس از خاکریزی تا تراز ۱۵۵۰..... ۱۱۹
شکل ۴-۱۶ تغییرشکل افقی سد علویان پس از ساخت و آبگیری..... ۱۱۹
شکل ۴-۱۷ تغییرات تنش قائم کل در تراز کف در پایان ساخت و پس از آبگیری..... ۱۲۱
شکل ۴-۱۸ تغییرات نسبت قوس زدگی در محور مرکزی هسته در مراحل ساخت و آبگیری..... ۱۲۳
شکل ۴-۱۹ تنشهای کل دربدنه سد با رسیدن تراز خاکریزی به ۱۵۵۰ متر..... ۱۲۴
شکل ۴-۲۰ تنشهای کل در بدنه ی سد پس از پایان ساخت و آبگیری..... ۱۲۴

فهرست جداول

عنوان.....صفحه

جدول ۲-۱ مشخصات فنی سد Mornos.....۴۲

جدول ۳-۱ مصالح بدنه ی سد علویان.....۶۰

جدول ۳-۲ ابزاردقیق سد علویان.....۶۱

جدول ۳-۳ محاسبه ی log q.....۸۵

جدول ۳-۴ پارامترهای مدل ویسکوپلاستیک برگرز در تحلیل اولیه ی سد علویان.....۸۷

جدول ۳-۵ پارامترهای مدل موهر – کولمب در تحلیل اولیه ی سد علویان.....۸۸

جدول ۳-۶ پارامترهای مدل الاستیک خطی مورد استفاده در تحلیل پی سد علویان.....۸۹

جدول ۴-۱ مقایسه ی درصد اختلاف داده های تجربی و محاسباتی در پوسته ها.....۱۰۲

جدول ۴-۲ مقایسه ی درصد اختلاف داده های تجربی و محاسباتی در هسته در تاریخ ۹۶/۶/۱۸.....۱۰۴

فهرست اختصارات

سرعت ساخت..... v

نفوذپذیری..... k

سختی..... D

ضریب پواسون..... ν

مدول الاستیک..... E

تنشهای جانبی..... σ_x

تنشهای نرمال..... σ_y

تنش نرمال..... S_{ij}

کرنش انحرافی..... e_{ij}

مدول بالک..... K

مدول برشی..... G

مقاومت کششی..... σ^t

چسبندگی..... c'

زاویه اصطکاک داخلی..... ϕ'

تنش اصلی حداکثر..... σ_1

تنش اصلی حداقل..... σ_3

لزجت دینامیکی..... η

تابع پتانسیل..... g

زاویه اتساع..... Ψ

مدول برشی کلوین..... G_1

مدول برشی ماکسول..... G_2

ویسکوزیته کلوین..... η_1

ویسکوزیته ماکسول..... η_2

کرنش..... ε

نیرو..... F

عرض از مبدا خط مماس بر منحنی کرنش – زمان..... ε_B

زمان..... t

دانسیته خشک..... γ_d

فصل اول

مقدمه

۱-۱ مقدمه

در حین ساخت سد ، تغییرشکلهای درونی ، در اثر تغییر تنش های کل و فشار های حفره ای ، خزش و یا دیگر اثرات ثانویه ی تابع زمان به وجود می آیند. نشست پی ، انتقال بار بین زون ها و عوامل دیگر بر این تغییرشکل ها اثرگذارند. پس از این که ساخت سد به پایان رسید ، تغییرشکل های قابل توجهی ممکن است در حین اولین آبگیری مخزن رخ دهند. پس از آن عموماً ، نرخ تغییرمکان ها با گذشت زمان کاهش می یابند مگر در صورت نوسانات دوره ای سطح آب مخزن و یا وقوع زلزله.

اندازه ، نرخ و جهت جابجایی ها ، برای مثال در یک نقطه ی خاص واقع در تاج سد ، در طی مراحل مختلف ساخت و بهره برداری دستخوش تغییر می گردد.

گسیختگی سدها ، به جز خرابی های غیرقابل پیش بینی ، نظیر زلزله ، تقریباً همواره با نشانه-هایی مانند افزایش نرخ تغییرشکل ها ، ناپیوستگی کرنش ها ، ترک و تولید اضافه فشارحفره ای همراه اند ؛ اگرچه ممکن است این نشانه های هشدار دهنده ظاهر شوند ، بدون اینکه گسیختگی در حال وقوع باشد. [۲۰]

ایمنی سد ، اولین و مهمترین دلیل کنترل تغییرشکل ها در سدهاست. دلیل دیگر ، اهمیت درک مفاهیم پایه ی طراحی برای مهندسین ، جهت کاربرد در کارهای آتی و نیز درک ویژگی های مقاومتی و تغییرشکلی خاک و سنگریز می باشد.

امروزه موثرترین ابزار ، جهت تفسیر رفتار مکانیکی سازه هایی چون سد ، استفاده از تحلیل برگشتی و مقایسه ی داده های حاصل ، با پیش بینی مدل سازی عددی است. در حقیقت از زمانی که نخستین بار ، شبیه سازی عددی ساخت لایه ای انجام گرفت ، پیشرفت های چشمگیری هم در روش-های عددی و هم در حوزه ی تفسیر فیزیکی مساله ، رخ داده است. [۱۵]