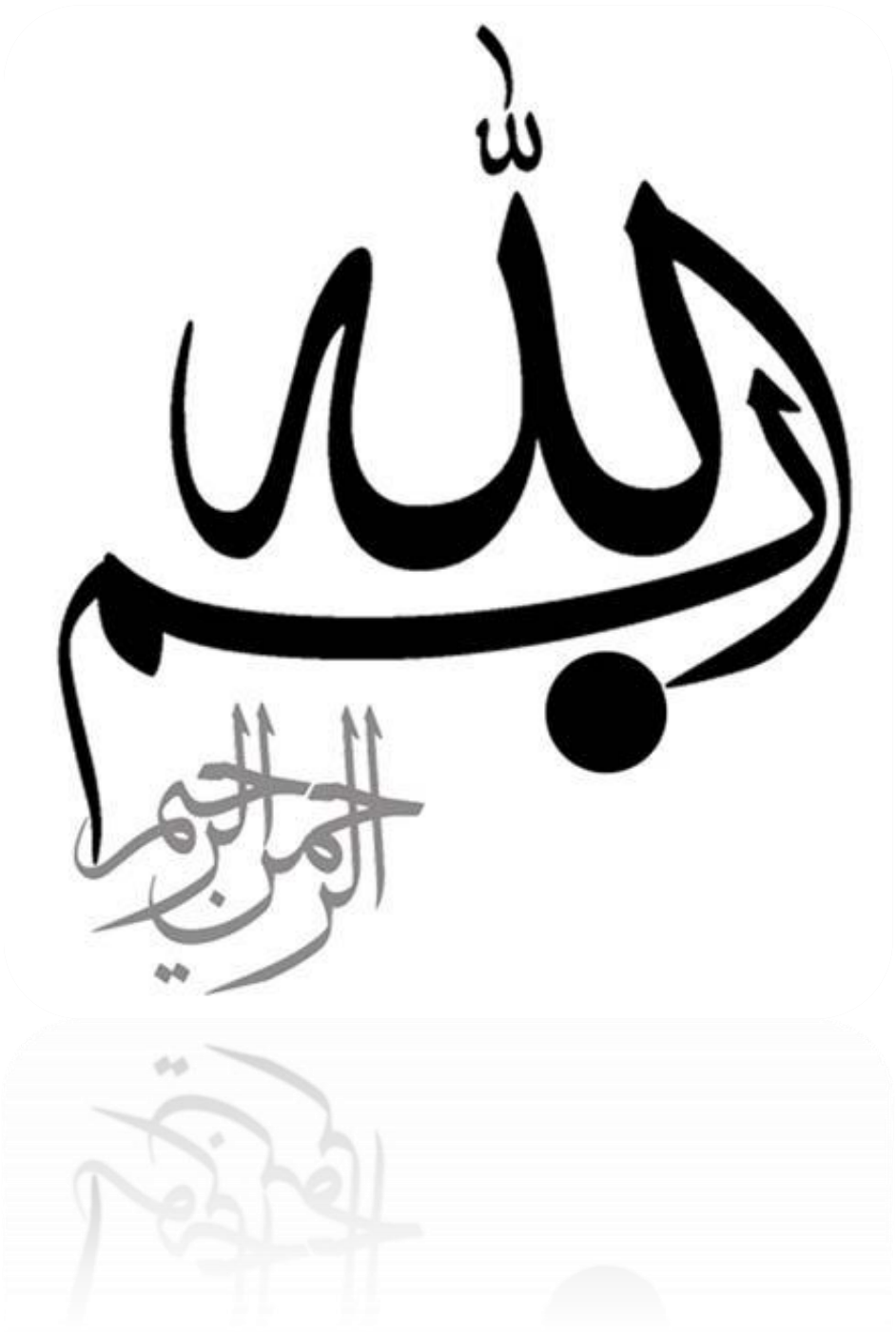
بسم الله
الرحمن الرحيم

کلیه امتیازهای این پایان‌نامه به دانشگاه بوعلی سینا تعلق دارد. در صورت استفاده از تمام یا بخشی از مطالب این پایان‌نامه در مجلات، کنفرانس‌ها و یا سخنرانی‌ها، باید نام دانشگاه بوعلی سینا یا استاد راهنمای پایان‌نامه و نام دانشجو با ذکر مأخذ و ضمن کسب مجوز کتبی از دفتر تحصیلات تکمیلی دانشگاه ثبت شود. در غیر این صورت مورد پیگرد قانونی قرار خواهد گرفت. درج آدرس‌های ذیل در کلیه مقالات خارجی و داخلی مستخرج از تمام یا بخشی از مطالب این پایان‌نامه در مجلات، کنفرانس‌ها و یا سخنرانی‌ها الزامی است.

مقالات خارجی

……..……, **Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran.**

مقالات داخلی

.....، گروه .....، دانشکده .....، دانشگاه بوعلی سینا، همدان.

دانشکده مهندسی
گروه آموزشی مهندسی عمران

پایان‌نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد در رشته عمران گرایش مکانیک خاک و پی

عنوان:

بررسی نشست سدهای خاکریز در اولین آبگیری: مطالعه موردی سد کلان ملایر

استاد راهنما:
دکتر محمد ملکی

استاد مشاور:
دکتر بهرام رضایی

نگارش:
مینا حسینی طیبی

۱۵ آبان ۱۳۹۱

تقدیم به

پدر و مادر عزیزم به پاس یک عمر اخلاص، فداکاری و محبت آنان

و

یگانه شریک و همراه زندگی همسر مهربانم، دکتر یونس محمدی

با تشکر از

پروردگار مهربان

استاد گرانمایه جناب آقای **دکتر محمد ملکی** که همواره وقت گرانبهای خود را در اختیار بنده قرار نهاده و با راهنمایی‌های بی دریغشان مرا در انجام این پایان نامه یاری نمودند

استاد ارجمند جناب آقای **دکتر عباس قدیمی** که نکته‌های ظریفانی را در طی دوران تحصیل کرده و راه را برای انجام این پایان نامه هموار نمودند و نیز **کلیه اساتید محترم دوره کارشناسی ارشد**

دوستان گرامی خانم مهندس انسیه ذوالفقاری و آقایان مهندس حسام امین پور، جواد زارعی، محسن موسوند، میثم بیات و صلاح الدین حمیدی

و همکاران محترم در شرکت آب منطقه‌ای همدان، بخصوص آقایان مهندس کاویانی، مهندس زهرایی و مهندس وهابیان

مینا حسینی طیبی

همدان، ایران، آبان ۹۱

دانشگاه بوعلی سینا

مشخصات پایان نامه تحصیلی

عنوان:

بررسی نشست سدهای خاکریز در اولین آبگیری: مطالعه موردی سد کلان ملایر

نام نویسنده: مینا حسینی طیبی

نام استاد راهنما: دکتر محمد ملکی

نام استاد مشاور: دکتر بهرام رضایی

دانشکده: مهندسی	**گروه آموزشی: مهندسی عمران**	
رشته تحصیلی: مهندسی عمران	**گرایش تحصیلی: مکانیک خاک و پی**	**مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد**
تاریخ تصویب پروپوزال: ۱۳۸۹/۱۰/۲۷	**تاریخ دفاع: ۱۳۹۱/۸/۱۵**	**تعداد صفحات: ۱۶۶**

چکیده:

بررسی کنترل پایداری و تغییر شکل سدهای خاکریز در طول مراحل ساخت و اولین آبگیری، از اهمیت قابل توجهی برخوردار است. تجربه سدسازی در جهان نشان می‌دهد که اگر یک سد خاکی یا سنگریزه‌ای در هنگام ساخت و اولین آبگیری پایدار بماند، در طول مدت بهره برداری نیز احتمال ناپایداری کمتری خواهد داشت. سد کلان یکی از سدهای خاکی همگن اصلاح شده است. این سد در جنوب شهر ملایر واقع در استان همدان ساخته شده و به دلیل اهمیت زیاد این سد، سیستم ابزار دقیق نسبتاً جامعی در آن تعبیه شده است. در این سد از سلول‌های فشار کل جهت مطالعه تنش، از پیزومترها جهت بررسی فشار آب حفره‌ای، از نشست‌سنج‌ها جهت کنترل تغییر شکل‌های سد و ابزار مختلف دیگری جهت مطالعه رفتار کلی سد استفاده شده است. در تحقیق حاضر هدف ارائه مدل‌سازی عددی با قابلیت بررسی رفتار سد حین ساخت و اولین آبگیری است. همچنین بر اساس داده‌های ابزار دقیق سد خاکی کلان، تنش‌های ایجاد شده و نیز نشست سد در طول مراحل ساخت و اولین آبگیری، با مقادیر حاصل از تحلیل عددی مقایسه شده است. دوران ساخت سد با استفاده از سه مدل رفتاری مور-کولمب، خزشی برگر و کم-کلی اصلاح شده، تحلیل شده است که پس از انجام مطالعات انتخاب مدل، مدل ارتجاعی خمیری با مکانیزم سخت‌شوندگی (مدل کم-کلی اصلاح شده)، برای مرحله ساخت مناسب به‌نظر رسید. جهت بررسی شرایط غیر اشباع در سدها و نحوه مدل‌سازی آن مطالعات چندانی در مراجع موجود نیست و بسیاری از مدل‌سازی‌ها برای مرحله آبگیری در شرایط اشباع انجام شده است. از طرفی، از آنجا که مصالح سد در حالت واقعی در حالت غیر اشباع هستند، برای مرحله آبگیری سد، تحلیل‌ها را در حالت اشباع و حالت غیر اشباع و با استفاده از دو مدل مور-کولمب و کم-کلی اصلاح شده انجام داده و پس از مقایسه نتایج حاصله، مدل کم-کلی اصلاح شده مجدداً ترجیح داده شد و تأثیر نسبتاً زیاد حالت غیر اشباع در رفتار واقعی سد مشخص گردید. تحلیل‌ها به‌صورت دو بعدی و کرنش مسطح بوده و نرم‌افزار مورد استفاده جهت انجام تحلیل‌ها FLAC 2D Ver. 5.00 است که از قابلیت-های بسیار خوبی در مدل‌سازی سازه‌های ژئوتکنیکی برخوردار است. انجام تحلیل مراحل ساخت و آبگیری سد نشان می‌دهند که مدل رفتاری کم-کلی اصلاح شده به‌طور نسبی قابلیت مدل کردن رفتار سد با توجه به نوع مصالح به‌کار رفته در طول مراحل ساخت و حین اولین آبگیری را داراست.

واژه‌های کلیدی: سد خاکی، ابزار دقیق، تحلیل عددی، اولین آبگیری، خاک غیر اشباع.

فهرست مطالب

فصل اول- مقدمه

۱-۱- مقدمه ۲
۱-۲- سابقه و ضرورت انجام پایان‌نامه ۲
۱-۳- اهداف کلی و فرضیات پایان‌نامه ۷
۱-۳-۱- اهداف تحقیق ۷
۱-۳-۲- فرضیات تحقیق ۷
۱-۴- معرفی فصل‌های پایان‌نامه ۷

فصل دوم- مطالعات مروری

۲-۱- مقدمه ۱۰
۲-۲- رفتار سدهای خاکی تحت اولین آبگیری ۱۰
۲-۲-۱- تأثیر المان بار آب ۱۲
۲-۲-۲- تنش جانبی ۱۴
۲-۳- ابزار دقیق به‌کار رفته در سدهای خاکی ۱۷
۲-۳-۱- انواع سیستم ابزار دقیق ۱۹
۲-۳-۱-۱- ابزارهای مکانیکی ۱۹
۲-۳-۱-۲- ابزارهای الکتریکی ۱۹
۲-۳-۱-۳- مبدل‌های مورد استفاده در ابزار دقیق ۲۰
۲-۳-۱-۳-۱- مبدل‌های مکانیکی ۲۰
۲-۳-۱-۳-۲- مبدل‌های هیدرولیکی ۲۱
۲-۳-۱-۳-۳- مبدل‌های نیوماتیکی ۲۲
۲-۳-۱-۳-۴- مبدل‌های الکتریکی ۲۳
۲-۳-۲- انواع ابزارها به تفکیک کاربرد ۲۴
۲-۳-۲-۱- ابزارهای اندازه‌گیری فشار آب در توده خاک ۲۴
۲-۳-۲-۱-۱- چاه‌های مشاهده‌ای ۲۵
۲-۳-۲-۱-۲- پیزومتر لوله ایستا ۲۵
۲-۳-۲-۱-۳- پیزومتر هیدرولیکی دو لوله‌ای ۲۶
۲-۳-۲-۱-۴- پیزومتر نیوماتیکی ۲۶
۲-۳-۲-۱-۵- پیزومترهای تار مرتعش ۲۷

۲-۳-۲-۱-۶- پیزومترهای مقاومت الکتریکی ۲۸
۲-۳-۲-۲- ابزارهای تعیین تنش کل در توده خاک ۲۸
۲-۳-۲-۲-۱- سلول‌های فشار کل دیافراگمی ۲۸
۲-۳-۲-۲-۲- سلول فشار کل هیدرولیکی ۲۹
۲-۳-۲-۲-۳- عوامل موثر بر اندازه‌گیری فشار توده خاک ۲۹
۲-۳-۲-۳- ابزارهای اندازه‌گیری تغییر شکل‌ها و تغییر مکان‌ها ۳۰
۲-۳-۲-۳-۱- نشست‌سنج و شیب‌سنج ۳۰
۲-۳-۲-۳-۲- ابزار اندازه‌گیری جابجایی افقی ۳۲
۲-۳-۲-۳-۳- اندازه‌گیری کرنش در نواحی کششی ۳۳
۲-۴- نمونه‌هایی از ابزارنگاری‌های انجام شده در سدهای خاکی ۳۵
۲-۴-۱- ارزیابی رفتار سد کرخه ۳۵
۲-۴-۱-۱- معرفی سد کرخه ۳۵
۲-۴-۱-۲- سیستم رفتارنگاری و ابزار دقیق ۳۵
۲-۴-۱-۳- بررسی فشار آب حفره‌ای در پی سد در اولین مرحله آبگیری ۳۶
۲-۴-۱-۴- بررسی فشار آب حفره‌ای در داخل هسته ۳۸
۲-۴-۱-۵- تغییرات نشست در هسته و پوسته در اولین مرحله آبگیری ۳۹
۲-۴-۱-۶- نتیجه‌گیری ۴۰
۲-۴-۲- ارزیابی رفتار سد نهرین ۴۱
۲-۴-۲-۱- معرفی سد ۴۱
۲-۴-۲-۲- سیستم و مقاطع ابزار دقیق سد ۴۱
۲-۴-۲-۳- تحلیل تنش ۴۲
۲-۴-۲-۴- تحلیل نشست ۴۲
۲-۴-۲-۵- تعیین تنش‌های اصلی ۴۳
۲-۴-۲-۶- نتیجه‌گیری ۴۴
۲-۴-۳- ارزیابی رفتار سد تبارک ۴۴
۲-۴-۳-۱- تنش کل در اولین مرحله آبگیری ۴۴
۲-۴-۳-۲- تنش موثر در اولین مرحله آبگیری ۴۵
۲-۴-۳-۴- نتیجه‌گیری ۴۶
۲-۴-۴- ارزیابی رفتار سد مارون ۴۶
۲-۴-۴-۱- فشار آب حفره‌ای اندازه‌گیری شده در اولین مرحله آبگیری ۴۷

۲-۴-۴-۲- تنش‌های اندازه‌گیری شده در اولین مرحله آبگیری ۴۷
۲-۴-۴-۳- تغییرشکل‌های اندازه‌گیری شده ۴۸
۲-۴-۴-۴- نتیجه‌گیری ۴۹
۲-۴-۵- ارزیابی رفتار سد مسجد سلیمان ۵۰
۲-۴-۵-۱- بررسی نشست سد مسجد سلیمان ۵۰
۲-۴-۵-۲- بررسی تنش‌های ایجاد شده در سد مسجد سلیمان ۵۱
۲-۴-۵-۳- بررسی مقادیر فشار آب حفره ای ۵۱
۲-۴-۵-۴- نتیجه‌گیری ۵۱
۲-۴-۶- بررسی رفتار سد اصلی ال جی فور ۵۲
۲-۴-۶-۱- رفتارسنجی فشار آب حفره ای ۵۲
۲-۴-۶-۲- رفتارسنجی تنش ۵۲
۲-۴-۶-۳- رفتارسنجی تغییرمکان‌ها ۵۳
۲-۴-۶-۴- نتیجه‌گیری ۵۳
۲-۴-۷- بررسی رفتار سد بلیشه ۵۳
۲-۴-۷-۱- پیش‌بینی رفتار سازه ۵۴
۲-۴-۸- بررسی رفتار چند سد دیگر ۵۵
۲-۴-۹- جمع بندی نتایج حاصل از ارزیابی رفتار سدهای مختلف ۵۶

فصل سوم- معرفی نرم‌افزار FLAC و مدل‌های رفتاری

۳-۱- مقدمه ۵۸
۳-۲- معرفی نرم‌افزار FLAC 5.0 ..... ۵۸
۳-۲-۱- خصوصیات کد FLAC 5.0 ..... ۵۹
۳-۲-۲- مراحل کلی مدل‌سازی در FLAC ۶۲
۳-۲-۲-۱- انتخاب محدوده مناسب و تشکیل شبکه المان‌ها ۶۲
۳-۲-۲-۲- انتخاب مدل رفتاری و تعیین پارامترهای آن ۶۳
۳-۲-۲-۳- اعمال شرایط مرزی و تنش‌های اولیه ۶۳
۳-۲-۲-۴- ایجاد تغییرات در مدل ۶۴
۳-۲-۲-۵- تحلیل مدل ۶۵
۳-۲-۳- حوزه معادلات ۶۵
۳-۲-۳-۱- حرکت و تعادل ۶۵
۳-۲-۳-۲- روابط رفتاری ۶۶

۳-۲-۳-۲-۱- روش محاسبه جزء تنش مربوط به چرخش ۶۷
۳-۳- مدل‌های مورد استفاده در تحلیل ۶۸
۳-۳-۱- مدل مور- کولمب ۶۸
۳-۳-۱-۱- مکانیسم ارتجاعی ۶۸
۳-۳-۱-۲- مکانیسم خمیری ۶۹
۳-۳-۱-۳- تعیین پارامترهای مدل ۷۰
۳-۳-۲- مدل خزشی برگر ۷۱
۳-۳-۲-۱- مرحله زمانی خزشی در FLAC ۷۲
۳-۳-۲-۲- مدل خزش ویسکوپلاستیک برگر ۷۳
۳-۳-۳- مدل دانشگاه کمبریج (مدل کم-کلی اصلاح شده) ۷۸
۳-۴- تحلیل عددی در حالت اشباع ۸۲
۳-۴-۱- در نظر گرفتن اثر متقابل آب و فاز جامد ۸۲
۳-۴-۲- قانون پیوستگی و تشکیل ماتریس سختی ۸۳
۳-۵- تحلیل عددی در حالت غیر اشباع ۸۵
۳-۵-۱- معرفی خاک‌های غیر اشباع ۸۵
۳-۵-۲- جریان دو فازه در نرم‌افزار FLAC ۸۹
۳-۵-۲-۱- معادله پیوستگی در گره‌ها ۹۴

فصل چهارم- ارزیابی و تحلیل نتایج- مطالعه موردی: سد کلان ملایر

۴-۱- مقدمه ۹۸
۴-۲- معرفی سد کلان ۹۹
۴-۲-۱- مشخصات فنی سد ۹۹
۴-۲-۲- موقعیت سد ۱۰۱
۴-۲-۳- مشخصات حوضه آبریز ۱۰۱
۴-۲-۴- تأسیسات وابسته سد ۱۰۲
۴-۲-۵- خصوصیات مصالح بدنه و پی سد ۱۰۳
۴-۲-۵-۱- مصالح ریزدانه ۱۰۴
۴-۲-۵-۱-۱- ویژگی‌های مقاومتی ۱۰۵
۴-۲-۵-۱-۲- آزمایش‌های تراکم ۱۰۵
۴-۲-۵-۱-۳- آزمایش‌های نفوذپذیری به روش بار افتان ۱۰۵
۴-۲-۵-۱-۴- آزمایش‌های سه‌محوری ۱۰۵

۴-۲-۵-۲- مصالح درشت دانه ۱۰۵
۴-۲-۵-۲-۱- ویژگی‌های رفتاری و مقاومتی ۱۰۵
۴-۲-۶- ابزاربندی سد کلان ۱۰۶
۴-۲-۶-۱- وضعیت نصب ابزار دقیق ۱۰۶
۴-۲-۶-۲- قرائت‌های انجام شده در طول دوره ۱۰۷
۴-۳- مدل‌سازی عددی ۱۰۸
۴-۳-۱- مدل‌سازی مرحله ساخت سد ۱۰۸
۴-۳-۱-۱-تحلیل مراحل ساخت ۱۰۸
۴-۳-۱-۲- مدل‌سازی هندسی ۱۰۸
۴-۳-۱-۳- شبیه‌سازی رفتاری ۱۱۳
۴-۳-۱-۴- انتخاب پارامترهای مدل‌های رفتاری ۱۱۵
۴-۳-۱-۴-۱- مدل رفتاری مور-کولمب ۱۱۶
۴-۳-۱-۴-۲- مدل خزشی برگر ۱۱۷
۴-۳-۱-۴-۳- مدل دانشگاه کمبریج (مدل کم-کلی اصلاح شده) ۱۱۷
۴-۳-۱-۵- نتایج به‌دست آمده از مدل‌سازی ۱۱۸
۴-۳-۱-۵-۱- بررسی نشست ۱۱۸
۴-۳-۱-۵-۲- بررسی فشار آب حفره‌ای ۱۲۱
۴-۳-۱-۵-۳- بررسی تنش ۱۲۳
۴-۳-۱-۶- بحث و بررسی نتایج ۱۲۴
۴-۳-۲- مدل‌سازی عددی اولین مرحله آبگیری سد ۱۲۵
۴-۳-۲-۱- نحوه انجام تحلیل‌های عددی ۱۲۸
۴-۳-۲-۲- مطالعه تأثیر مدل کردن حالت غیر اشباع ۱۳۲
۴-۳-۲-۲-۱- تحلیل‌های صورت گرفته ۱۳۴
۴-۳-۲-۲-۱-۱- بررسی نشست ۱۳۴
۴-۳-۲-۲-۱-۲- بررسی تنش ۱۳۷
۴-۳-۲-۲-۱-۳- فشار مکش ۱۳۷
۴-۳-۲-۲-۲- بحث و بررسی نتایج ۱۳۸

فصل پنجم- نتیجه‌گیری و پیشنهادها

۵-۱- مقدمه ۱۴۲
۵-۲- نتیجه‌گیری ۱۴۲

۵-۳- کارهای آتی ۱۴۳
مراجع ۱۴۵

فهرست جداول

جدول ۲-۱- تغییرشکل جانبی طی اولین مرحله آبگیری برای چند نمونه هسته ۱۶
جدول ۲-۲- بیشترین تغییر شکل پایین‌دست سد ۱۶
جدول ۲-۳- درصد علل آسیب‌دیدگی سدهای خاکی ۱۸
جدول ۲-۴- شرح ابزار نصب شده در سد نهرین ۴۱
جدول۳-۱- حدود مقادیر زاویه اتساع برای مصالح متفاوت ۷۱
جدول۴-۱- خلاصه مشخصات فنی سد کلان ملایر ۱۰۱
جدول۴-۲- مشخصات مصالح درشت دانه سد کلان ملایر ۱۰۶
جدول ۴-۳ - تعداد ابزارهای سد کلان ۱۰۷
جدول ۴-۴- تواتر قرائت ابزار دقیق در دوره گزارش ۱۰۷
جدول ۴-۵- مقادیر متوسط پارامترهای مورد استفاده در تحلیل پایداری بدنه سد کلان ملایر ۱۱۶
جدول ۴-۶- پارامترهای مدل خزشی برگر به‌کار رفته در این تحقیق ۱۱۷
جدول ۴-۷- پارامترهای مدل کم-کلی اصلاح شده ۱۱۷

فهرست شکل‌ها

شکل ۲-۱- آبگیری مخزن و اثرات آن ۱۲

شکل۲-۲- بار آب در سد خاکی همگن ۱۳

شکل۲-۳- توزیع تنش‌های جانبی الف) در انتهای ساخت ب) در زمان آبگیری، برای سد خاکی دارای هسته با خصوصیت نشست پذیری یکسان خاک‌های اطراف خود ۱۴

شکل۲-۴- توزیع تنش‌های جانبی الف) در انتهای ساخت ب) در زمان آبگیری برای سد خاکی دارای هسته زهکشی شده ۱۵

شکل ۲-۵- نشست سد El Infiernillo در اولین مرحله آبگیری ۱۷

شکل ۲-۶- موقعیت و آرایش ابزارهای دقیق در مقطع عرضی نمونه سد کرخه - مقطع (۵) ایستگاه (۲۳۰+۱) ۳۶

شکل ۲-۷- نحوه تغییرات فشارهای آب حفره‌ای با زمان در پی سد کرخه در محل مقطع (۵) ایستگاه ۲۳۰+۱ ..... ۳۷

شکل ۲-۸- تغییرات فشارهای حفره‌ای در مقطع (۵) سد کرخه در زمان آبگیری و زمان بالاترین تراز آب مخزن ۳۸

شکل ۲-۹ - روند افزایش فشار حفره‌ای در داخل هسته سد کرخه در مقطع (۵) در فواصل زمانی مختلف ۳۹

شکل ۲-۱۰- منحنی نشست در هسته سد کرخه بر حسب ارتفاع خاکریز ۳۹

شکل ۲-۱۱- منحنی نشست در پوسته پایین‌دست سد کرخه بر حسب ارتفاع خاکریز ۴۰

شکل ۲-۱۲- جانمایی ابزار دقیق سد نهرین در مقطعB-B ۴۱

شکل ۲-۱۳- نتایج تحلیل تنش قائم سد نهرین در تراز ۱۱۲۰ متر ۴۲

شکل ۲-۱۴- نتایج نشست سد نهرین در تراز ۱۱۰۰ متر ۴۳

شکل ۲-۱۵- تنش‌های اصلی در ترازهای الف: ۱۱۱۰ متر و ب: ۱۱۲۰ متر ۴۳

شکل ۲-۱۶- تنش کل به‌دست آمده از ابزار دقیق سد تبارک، در مقطع ۶-۶ ..... ۴۵

شکل ۲-۱۷- تنش‌های مؤثر به‌دست آمده در ابزار دقیق سد تبارک، مقطع ۶-۶ ..... ۴۵

شکل ۲-۱۸ - فشار آب حفرهای اندازه‌گیری شده سد مارون در پیزومتر تراز ۴۰۰ ..... ۴۷

شکل ۲-۱۹- مقدار تنش قائم اندازه‌گیری شده سد مارون ۴۸

شکل ۲-۲۰- نشست اندازه‌گیری شده سد مارون در پوسته بالادست ۴۸

شکل ۲-۲۱ - نشست نقاط واقع در تراز ۴۲۰ سد مارون در زمان‌های مختلف ۴۹

شکل ۳-۱- حلقه پایه محاسبات به روش صریح ۵۹

شکل ۳-۲- اعمال نیروی تابع زمان به جسم ۶۶
شکل۳-۳- سطح گسیختی مور – کولمب در پلان انحرافی ۶۹
شکل ۳-۴- نمایش شماتیک مدل برگر ۷۴
شکل ۳-۵- سطح تسلیم مدل کم-کلی اصلاح شده ۸۰
شکل ۳-۶- تقسیم‌بندی شماتیک خاک به‌صورت کلی ۸۵
شکل ۳-۷-رده‌بندی خاک بالای سطح آب زیرزمینی بر اساس درجه اشباع مختلف ۸۶
شکل ۳-۸- نقش شرایط مرزی جریان سطحی بر روی خاک ۸۸
شکل ۳-۹- تغییرات ضریب تجربی $K(S)$ با تغییر درجه اشباع ۹۵
شکل۴-۱- نمایی از خاکریزی بدنه سد کلان ملایر ۹۹
شکل۴-۲- برش عرضی سد کلان ملایر ۹۹
شکل ۴-۳- پلان جانمایی سد و تأسیسات وابسته ۱۰۳
شکل ۴-۴- پلان بدنه سد کلان و موقعیت مقاطع ابزاربندی ۱۰۹
شکل ۴-۵ - موقعیت ابزارها در مقطع (۳) ابزاربندی ۱۱۰
شکل ۴-۶- شبکه المان‌های تولید شده سد کلان و پی آن در مقطع ۵۲۵ ..... ۱۱۱
شکل۴-۷- لایه های در نظر گرفته شده جهت مدل‌سازی سد کلان ۱۱۲
شکل ۴-۸- سطوح هم‌تراز نشست تجمعی در پی ۱۱۵
شکل۴-۹- منحنی نشست در بالادست سد (محور I3001) ۱۱۸
شکل۴-۱۰- منحنی نشست در بالادست سد (محور I3002) ۱۱۹
شکل۴-۱۱- منحنی نشست در پایین‌دست سد (محور I3003) ۱۱۹
شکل۴-۱۲- منحنی نشست در پایین‌دست سد (محور I3004) ۱۱۹
شکل۴-۱۳- تغییرات نشست بر حسب زمان در تراز ۱۸۸۵ (محور I3001) ۱۲۰
شکل۴-۱۴- تغییرات نشست بر حسب زمان در تراز ۱۸۸۵ (محور I3002) ۱۲۰
شکل۴-۱۵- تغییرات نشست بر حسب زمان در تراز ۱۸۸۵ (محور I3003) ۱۲۱
شکل۴-۱۶- تغییرات نشست بر حسب زمان در تراز ۱۸۸۵ (محور I3004) ۱۲۱
شکل۴-۱۷- تغییرات فشار آب حفره‌ای بر حسب زمان در پیزومتر V525-U105-1879 ..... ۱۲۲
شکل۴-۱۸- تغییرات فشار آب حفره‌ای بر حسب زمان در پیزومتر V525-U80-1879 ..... ۱۲۲
شکل۴-۱۹- تغییرات فشار آب حفره‌ای بر حسب زمان در پیزومتر V525-U0.1-1885 ..... ۱۲۳

شکل۴-۲۰- تغییرات فشار آب حفره‌ای بر حسب زمان در پیزومتر V525-D6-1886 ..... ۱۲۳
شکل۴-۲۱- منحنی تنش قائم در مرحله ساخت سد ۱۲۴
شکل ۴-۲۲-الف- سطوح هم‌تراز نشست تجمعی در مدل مور-کولمب ۱۲۶
شکل ۴-۲۲-ب- سطوح هم‌تراز نشست تجمعی در مدل خزشی برگر ۱۲۶
شکل ۴-۲۲-ج- سطوح هم‌تراز نشست تجمعی در مدل کم-کلی ۱۲۷
شکل ۴-۲۳- منحنی نشست در بالادست سد حین آبگیری با استفاده از مدل مور-کولمب (محور I3001) ۱۲۹
شکل۴-۲۴- منحنی نشست در بالادست سد حین آبگیری با استفاده از مدل مور-کولمب (محور I3002) ۱۲۹
شکل۴-۲۵- منحنی نشست در پایین‌دست سد حین آبگیری با استفاده از مدل مور-کولمب (محور I3003) ۱۳۰
شکل۴-۲۶- منحنی نشست در پایین‌دست سد حین آبگیری با استفاده از مدل مور-کولمب (محور I3004) ۱۳۱
شکل۴-۲۷- منحنی نشست در بالادست سد حین آبگیری با استفاده از مدل کم-کلی (محور I3001) ۱۳۲
شکل۴-۲۸- منحنی نشست در بالادست سد حین آبگیری با استفاده از مدل کم-کلی (محور I3002) ۱۳۲
شکل۴-۲۹- منحنی نشست در پایین‌دست سد حین آبگیری با استفاده از مدل کم-کلی (محور I3003) ۱۳۳
شکل۴-۳۰- منحنی نشست در پایین‌دست سد حین آبگیری با استفاده از مدل کم-کلی (محور I3004) ۱۳۳
شکل ۴-۳۱- منحنی نشست در بالادست سد در حالت غیر اشباع (محور I3001) ۱۳۴
شکل ۴-۳۲- منحنی نشست در بالادست سد در حالت غیر اشباع (محور I3002) ۱۳۵
شکل ۴-۳۳- منحنی نشست در پایین‌دست سد در حالت غیر اشباع (محور I3003) ۱۳۵
شکل۴-۳۴- منحنی نشست در پایین‌دست سد در حالت غیر اشباع (محور I3004) ۱۳۵
شکل ۴-۳۵- تغییرات نشست بر حسب زمان(I3001) ۱۳۶
شکل ۴-۳۶- تغییرات نشست بر حسب زمان(I3002) ۱۳۶
شکل ۴-۳۷- تغییرات نشست بر حسب زمان(I3003) ۱۳۷
شکل ۴-۳۸- تغییرات نشست بر حسب زمان(I3004) ۱۳۷
شکل ۴-۳۹- مقدار تنش بر حسب زمان ۱۳۸
شکل ۴-۴۰- مقدار فشار مکش بر حسب پارامتر اشباع ۱۳۹
شکل ۴-۴۱- توزیع فشار آب حفره‌ای ایجاد شده در حالت دو فازه با استفاده از مدل کم-کلی و انجام آبگیری مخزن تا تراز ۱۹۱۵/۲ متر ۱۳۹
شکل ۴-۴۲- سطوح هم‌نشست در پایان آبگیری و در حالت تحلیل دو فازه ۱۴۰

فصل اول

مقدمه

۱-۱- مقدمه

امروزه سدهای بزرگ اعم از خاکی یا بتنی، از مهم‌ترین سازه‌های آبی به‌شمار می‌روند که در تأمین آب مورد نیاز جوامع انسانی نقش اساسی را ایفا می‌کنند. لذا پایداری سدها به‌ویژه در دهه‌های اخیر مورد توجه خاص مهندسین طراح سدهای خاکی و بتنی بوده است. سدهای خاکی از جمله سازه‌های مهم و عظیمی هستند که نه‌تنها پی آن‌ها بر روی مصالح طبیعی خاکی و سنگی قرار دارد، بلکه مواد اولیه ساخت خود آن‌ها نیز از مصالح طبیعی خاکی یا سنگی تشکیل می‌گردد. طبیعت متفاوت سازندهای طبیعی در محل احداث سدهای خاکی از یک طرف و رفتار پیچیده مصالح خاکی سد از طرف دیگر ارزیابی کمی و کیفی پارامترهای رفتاری خاک را ضروری می‌نماید. تحقیقات نشان می‌دهند ارزیابی غلط این‌گونه پارامترها علت به مخاطره افتادن پایداری سدهای خاکی است (Kutzner 1997).

علم ژئوتکنیک به‌جای یک محیط پیوسته، از یک محیط متخلخل سه فازی، متشکل از فازهای اسکلت جامد خاک، آب و هوا تشکیل شده است که منشأ طبیعی داشته و معمولاً به دلایل اقتصادی، انتخاب مصالح مورد نیاز بسیار محدود است، لذا کنترل بر روی کیفیت مصالح نیز بسیار محدود خواهد بود.

مدل کردن رفتار واقعی خاک، مستلزم استفاده از مدل‌های رفتاری پیشرفته است. به‌طوری که شاید بتوان گفت اکثر مدل‌های خمیری پیشرفته که هم‌اکنون در سطح دنیا به‌وجود آمده‌اند، توسط محققان علم ژئوتکنیک و در پاسخ به همین نیاز شکل گرفته‌اند (Das 2008).

۱-۲- سابقه و ضرورت انجام پایان‌نامه

اطمینان از رفتار مناسب سدهای خاکی، در شرایط مختلف دوران ساخت، آبگیری و بهره‌برداری، با توجه به خطرات جدی ناشی از شکست این نوع سازه‌های مهم، امری اجتناب‌ناپذیر است.

به دلیل عدم قطعیت در مبانی و فرضیات اتخاذ شده در تحلیل این سازه‌ها، لزوم توجه کافی به ارزیابی رفتار سدها و بررسی تطابق نتایج تحلیل‌های انجام شده با پارامترهای رفتاری، در شرایط مختلف طول عمر آن ضروری است. این هدف با کمک اطلاعات به‌دست آمده از رفتارنگاری سدها (به

کمک ابزار دقیق)، حاصل خواهد شد. اهمیت ویژه ابزار دقیق در سدها به نقش آن‌ها در کنترل پایداری کوتاه و درازمدت سدها برمی‌گردد، به‌گونه‌ای که در رفتارنگاری سدها مورد توجه مهندسین واقع شده است. در حال حاضر، رفتارنگاری در سدهای خاکی با رفتار بسیار پیچیده، بخشی از برنامه جامع کنترل پایداری است؛ به‌عبارتی با رفتارنگاری توسط ابزار دقیق، تشخیص هرگونه مشکل احتمالی که پایداری سد را تهدید کند به‌خوبی امکان‌پذیر است.

برای اولین بار با تولید ابزار دقیق، این ابزارآلات به‌طور جدی در دهه‌های ۱۹۳۰ و ۱۹۴۰مطرح شدند. این امر در طول ۵۰ سال گذشته از روند تکاملی برخوردار بوده، به‌طوری که استفاده از سیستم‌های خودکار در این زمینه پیشرفت‌های چشمگیری داشته است (رحیمی ۱۳۸۵).

با رشد تکنولوژی ساخت این ابزارآلات، اطمینان به عملکرد آنان نیز افزایش یافته و نتایج حاصل از ثبت و پردازش داده‌های به‌دست آمده، در ارزیابی عملکرد سدها، اثرات قابل ملاحظه‌ای داشته است. شایان ذکر است که در حال حاضر دانش و تکنولوژی ساخت ابزار دقیق، به‌مراتب کامل‌تر از طراحی کاربردی این ابزارها است، به‌طوری که بسیاری از اشکالات موجود در برنامه‌های ابزاربندی، مربوط به فرآیند ابزارگذاری است. بنابراین لزوم برنامه‌ریزی منطقی و سیستماتیک در طراحی و نصب ابزار دقیق از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

گسترش فشار آب حفره‌ای در داخل هسته در دوران ساخت در نتیجه افزایش تدریجی ارتفاع سد، همیشه مورد توجه مهندسین بوده است. ابزاربندی سد و رفتارنگاری آن در دوران ساخت به این موضوع کمک زیادی می‌کند به‌گونه‌ای که ممکن است آبگیری موقت سد در بعضی مراحل ساخت پیشنهاد شود (Kutzner 1997).

یکی از مهم‌ترین مراحل در طول عمر سدهای خاکی، مرحله آبگیری اولیه آن‌هاست. این مرحله به‌صورت کنترل شده و یا به‌صورت کنترل نشده، می‌تواند اثرات مخربی بر روی سد داشته باشد. در حین آبگیری با توجه به افزایش فشار حفره‌ای در سد که ناشی از بالا آمدن آب در پشت سد و تراوش

از داخل هسته است، احتمال خرابی سد افزایش خواهد یافت. بنابراین در این مرحله کنترل فشارهای حفره‌ای حائز اهمیت زیادی است.

یکی از مسائل بسیار مهم در بررسی سدهای خاکی، پدیده تراوش از بدنه سد در حین آبگیری است که چنانچه به آن توجه کافی نشود، می‌تواند موجب خسارت و شکست سد شود. با توجه به غیر اشباع بودن مصالح بدنه با افزایش ارتفاع آب پشت آن این قسمت به‌تدریج اشباع می‌شود که بر مبنای آن می‌توان تراوش آب در بدنه سد را به دو فاز گذرا و پیوسته تقسیم نمود (رحیمی ۱۳۸۵).

آمار عملکرد سدها بیانگر این واقعیت است که ۱٪ سدهای جهان ناپایدار بوده است. بر اساس آمار کمیته بین‌المللی سدهای بزرگ، طی صد سال گذشته، تنها در اثر خرابی سدهای بزرگ حدود هجده‌هزار تلفات جانی و خسارات سنگین اقتصادی وارد آمده است. هر فاجعه با دلسردی عموم و تکاپوی گسترده مجامع رسمی جهت بررسی عوامل خرابی روبرو شده است.

معمولاً رفتارسنجی مداوم، تشخیص به موقع هرگونه نقص و پدیده‌های منفی را که ممکن است به گسیختگی منجر شود امکان‌پذیر می‌سازد. آمار ناپایداری سدها نشان می‌دهد که بیشترین تعداد خرابی، به ترتیب، مربوط به سدهای خاکی، وزنی، سنگریزه‌ای و قوسی بوده است (ICOLD 1983).

اطلاعات حاصل از برنامه‌های رفتارنگاری، علاوه بر اینکه برای سد اهمیت دارد، دانش مربوط به رفتار سدها را به‌طور عمومی افزایش می‌دهد. از این رو، این برنامه‌ها حتی‌المقدور باید از دیدگاه برآورد نیازهای کلی رفتارنگاری و کنترل سدها تنظیم شود، به‌گونه‌ای که این اطلاعات منجر به پدید آمدن معلومات توسعه یافته‌ای در جهت بهبود طراحی و ساخت سازه‌های آینده گردد (رحیمی ۱۳۸۵).

پیشرفت دانش مهندسی در رابطه با تحلیل و طراحی سازه‌های ژئوتکنیکی توانسته است پاسخ بسیاری از سؤالات مطرح در مورد این سازه‌ها را بر پایه یافته‌های نظری و آزمایشگاهی ارائه دهد.

گسترش روش‌های عددی (نظیر اجزاء محدود و تفاضل محدود) و مدل‌های رفتاری مصالح در شرایط مختلف بارگذاری (استاتیکی و دینامیکی)، این امکان را فراهم آورده است، تا بتوان رفتار سازه