بسم الله الرحمن الرحيم

٢٨٥٩

۱۳۸۰ /۱/ ۱۰

مرکز اطلاعات و مدارک علمی ایران
نسخه مدارک

دانشگاه تهران

دانشکده فنی

رفتارنگاری سد کرخه در دوران ساختمان با استفاده از نتایج ابزاردقیق

نگارش

حبیب نیرومند

استاد راهنما

دکتر علی‌اصغر میرقاسمی

012570

استاد مشاور

۳۵۸۵۹

دکتر مهدی پاکزاد

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

در رشته

مهندسی عمران - گرایش مکانیک‌خاک و مهندسی پی

دانشگاه تهران
دانشکده فنی
مهندسی عمران

زمستان ۱۳۷۹

فرم ارزشیابی پایان نامه کارشناسی ارشد دانشکده فنی

گروه مهندسی: عمران

در چارچوب ارزیابی مرحله تحقیقاتی مقطع کارشناسی ارشد دانشجویان دانشکده فنی دانشگاه تهران

آقای: **حبیب نیرومند** به شماره دانشجویی: ۸۱۰۲۷۷۰۸۸ در رشته مهندسی: **عمران**

گرایش: **خاک و پی** پایان‌نامه خود به ارزش: ۶ واحد را که در نیمسال اول سال تحصیلی: ۷۹-۷۸

اخذ و ثبت‌نام نموده بود، تحت عنوان: "رفتار نگاری سد کرخه در دوران ساختمان با استفاده از نتایج ابزار دقیق"

به سرپرستی (استاد راهنما): **دکتر علی‌اصغر میرقاسمی** استاد مشاور: **دکتر مهدی پاکزاد**

در تاریخ: ۷۹/۱۱/۳۰ در مقابل هیات داوران به شرح ذیل با (موفقیت / عدم موفقیت / اصلاحاتی) دفاع نمود.

اسامی هیات داوران (حداقل ۳ نفر) — **امضاء**

۱- **دکتر علی‌اصغر میرقاسمی** ۷۹/۱۱/۳۰

۲- **دکتر اورنگ فرزانه**

۳- **دکتر سیدمجدالدین میرمحمد حسینی**

۴- **دکتر مهدی پاکزاد**

۵-

نمره نهایی هیات داوران:

به عدد	به حروف
۲۰/-	بیست تمام

ملاحظات:

تذکر: نیازی به درج نمره جداگانه هریک از داوران نبوده و فقط نمره مورد توافق هیات داوران (متوسط) اعلام می‌شود.

سرپرست محترم تحصیلات تکمیلی دانشکده

با سلام، نظر به اعلام نمره نهایی فوق‌الذکر از جانب هیات داوران خواهشمند است نسبت به انجام امور فراغت از تحصیل دانشجوی یاد شده برابر ضوابط و مقررات اقدام مقتضی مبذول فرمائید.

نام و نام خانوادگی مدیر گروه: **دکتر منوچهر لطیفی** **امضاء وتاریخ:** ۷۹/۱۲/۱

توجه مهم: کلیه نوشته‌ها به استثناء نمره هیات داوران و مطالب بند ملاحظات قبل از دفاع باید با ماشین تایپ گردد. در صورت لزوم تایپ مطالب این برگ در دفتر تحصیلات تکمیلی امکان‌پذیر خواهد بود.

تذکر: این فرم به دفتر تحصیلات تکمیلی ارسال و تصویر آن در گروه مربوطه نگهداری می‌شود.

تقدیم به

پدر و مادر

و

خانوادهٔ عزیزم

رفتارنگاری سدکرخه در دوران ساختمان با استفاده از نتایج ابزاردقیق

چکیده

رفتارنگاری سدهای خاکی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد . رفتارنگاری به بررسی عملکرد سد در مراحل مختلف ساخت، اولین آبگیری و دوران بهره‌برداری اطلاق می‌شود . رفتارسنجی سدها به سه دلیل اصلی صورت می‌پذیرد . بررسی رفتار سد به لحاظ مسائل ایمنی، مقایسه عملکرد واقعی سد با پیش‌بینی‌های طراحی و تجربه‌ای برای طرحهای آینده دلایل اصلی رفتارنگاری می‌باشند . در این تحقیق رفتارنگاری سد کرخه در دوران ساختمان مورد ارزیابی قرار گرفته است . ارتفاع سد کرخه ۱۲۸ متر و طول تاج آن ۳۰۳۰ متر می‌باشد . حجم مخزن سد در حدود ۷ میلیارد مترمکعب برآورد شده است. برای رفتارنگاری سد در حدود ۱۰۰۰ ابزاردقیق شامل انواع پیزومترها ، سلول‌های اندازه‌گیری فشار کل توده خاک، انحراف سنجها و نشست‌سنجها در ۲۳ مقطع مختلف قرار داده شده است. رفتارنگاری سد با استفاده از اطلاعات ابزاردقیق و تحلیلهای عددی (برگشتی) انجام گرفته است. تحلیلها در دو محیط تنش کل و موثر انجام گرفته است. در انجام تحلیلها از نرم‌افزار CA2 که یک برنامه بر اساس روش تفاضلات محدود دوبعدی می‌باشد ، استفاده شده است.

بررسیهای انجام گرفته نشان داد که فشارهای منفذی هسته در زمان ساخت از مقادیر پیش‌بینی شده در طراحی بمراتب کوچکتر می‌باشند . بیشترین ضریب فشار آب حفره‌ای واقعی سد برابر ۰/۴۳ می‌باشد که از مقدار طراحی (Ru_{max} =۰/۷) کمتر می‌باشد . علت این اختلاف را طولانی شدن زمان ساخت و تغییر مصالح هسته از رس خالص به رس مخلوط می‌توان عنوان نمود .

نشست پوسته و هسته که از اطلاعات ابزاردقیق و تحلیلها برگشتی بدست آمده به ترتیب ۴۰ و ۱۱۲ سانتیمتر می‌باشد . این مقدار نشست برای پوسته و هسته به ترتیب ۰/۳ و یک درصد ارتفاع کل سد می‌باشد که از مقادیر کوچکتری نسبت به نشستهای پیش‌بینی شده در طراحی (حدود یک درصد برای پوسته و سه درصد برای هسته) برخوردار می‌باشد .

بررسی تنشهای کل نشان داد که ضریب قوس زدگی واقعی سد در حدود ۰/۴۶ می باشد که با توجه به میزان قوس‌زدگی سدهای دیگر دنیا در محدوده قابل قبولی قراردارد .

شایسته است از زحمات اساتید ارجمند جناب آقای دکتر علی اصغر میرقاسمی و

جناب آقای دکتر مهدی پاکزاد که در انجام این تحقیق از راهنمایی ارزنده ایشان

بهره‌مند شدم کمال تشکر و قدردانی را داشته باشم ،

همچنین از مساعدت جناب آقای مهندس ترکش دوز مدیریت محترم طرحهای کرخه

و جناب آقای دکترمیرحسینی ، جناب آقای مهندس صدرلاهیجانی ومهندس بهنام که

در انجام این تحقیق مرایاری رسانده‌اند ،

و نیز از تمامی معلمان و استادان گرانقدری که در طول دوران تحصیل از وجودشان

بهره‌مند شدم ،

و همکاران ارجمند درشرکت مهاب قدس به ویژه درطرح کرخه ،

ودر نهایت از همه عزیزانی که در کسب دانش و معرفت همواره مشوق و راهنمایم

بودند ،

سپاسگزارم.

فهرست مطالب

عنوان | صفحه

فصل اول - کلیات

۱-۱- مقدمه ۱

۱-۲- ضرورت انجام تحقیق ۲

۱-۳ - مروری بر مطالب سایر فصلها ۳

فصل دوم - نگرشی بر ادبیات فنی و ابزار دقیق در سدهای خاکی

۲-۱- مقدمه ۵

۲-۲- رفتارنگاری (Monitoring) ۵

۲-۲-۱- تعریف رفتارنگاری و ابزاربندی ۵

۲-۲-۲-علل ابزاربندی و رفتارنگاری در سدهای خاکی ۶

۲-۲-۳- موارد رفتارنگاری در سدهای خاکی ۶

۲-۳- مروری بر ادبیات فنی ۷

۲-۴- ابزار دقیق (Instrumentation) ۱۰

۲-۴-۱- مبدلهای مورد استفاده در ابزار دقیق ۱۰

۲-۴-۱-۱- مبدلهای مکانیکی ۱۱

۲-۴-۱-۲ مبدلهای هیدرولیکی ۱۰

۲-۴-۱-۳- مبدلهای پنوماتیکی ۱۰

۲-۴-۱-۴- مبدلهای تار مرتعش (Vibrating Wire Transducer) ۱۱

۲-۴-۱-۵- مبدلهای الکتریکی ۱۰

۲-۴-۲- روشهای اندازه‌گیری فشار آب در توده خاک ۱۰

۲-۴-۲-۱ چاههای مشاهده‌ای (Observation Wells) ۱۱

۲-۴-۲-۲- پیزومتر لوله ایستا (Open Stand Pipe Piezometers) ۱۱

عنوان	صفحه

۲-۴-۲-۳- پیزومتر هیدرولیکی دولوله‌ای ۲۵

۲-۴-۲-۴- پیزومتر پنوماتیکی ۲۵

۲-۴-۲-۵- پیزومترهای تار مرتعش ۲۶

۲-۴-۲-۶- پیزومترهای مقاومت الکتریکی ۲۸

۲-۴-۳ – روشهای تعیین تنش کل در توده خاک ۲۹

۲-۴-۳-۱- سلولهای فشار کل دیافراگمی ۳۰

۲-۴-۳-۲- سلول فشار کل هیدرولیکی ۳۰

۲-۴-۳-۳- عوامل موثر بر اندازه‌گیری فشار توده خاک ۳۲

۲-۴-۴- انحراف‌سنجها (Inclinometer) ۳۴

فصل سوم - معرفی نرم‌افزار CA2 و نحوه حل معادلات حاکم توسط این برنامه

۳-۱- مقدمه ۳۸

۳-۲- قابلیت‌های برنامه CA2 ..... ۳۸

۳-۳- روش تفاضل محدود ۳۹

۳-۳-۱- روش تفاضل محدود صریح (Explicit Finit Difference Method) ۴۰

۳-۳-۲- تحلیل لاگرانژی ۴۲

۳-۴- مکانیک محیط‌های پیوسته ۴۲

۳-۴-۱- حرکت و تعادل ۴۲

۳-۴-۲- روابط قانون رفتاری (Constitutive Relations) ۴۳

۳-۴-۳- شرایط مرزی ۴۴

۳-۵- فرمول‌بندی عددی ۴۴

۳-۵-۱- شبکه (Grid) ۴۵

عنوان	صفحه

۳-۵-۲- معادلات تفاضل محدود ۴۶

۳-۵-۳- محاسبه نرخ کرنش ۴۶

۳-۵-۴ – سرهم کردن ادغامی (Mixed Discretization) ۴۷

۳-۵-۵- محاسبه تنشها و نیروهای گرهی ۴۸

۳-۵-۶- معادله حرکت ۴۹

۳-۵-۷- میرایی مکانیکی ۴۹

۳-۵-۸- یافتن گام زمانی مکانیکی و بررسی پایداری روش عددی ۵۰

۳-۶- مدل مصالح مورد استفاده در CA2 ..... ۵۴

۳-۶-۱- مدل الاستیک خطی ۵۵

۳-۶-۲- مدل الاستیک و پلاستیک کامل موهر-کولمب ۵۵

۳-۷- جریان آب زیرزمینی و تحکیم ۵۸

۳-۷-۱- معادله دارسی و فرموله کردن عددی آن ۵۸

۳-۷-۲- معادله‌پیوستگی‌درگره‌های اشباع وغیر اشباع (Continuity Equation) ۶۱

۳-۷-۳- اثرات مکانیکی در گره‌های اشباع و غیر اشباع ۶۲

فصل چهارم - مشخصات سد مخزنی کرخه

۴-۱- مقدمه ۶۳

۴-۲- مشخصات کلی طرح ۶۳

۴-۲-۱ موقعیت و مشخصات رودخانه کرخه ۶۳

۴-۲-۲- مشخصات سد کرخه ۶۴

۴-۳- خصوصیات ساختگاه سد کرخه ۶۷

۴-۳-۱- زمین ریخت شناسی ۶۷

عنوان	صفحه

۴-۳-۲- سنگ چینه شناسی ۶۷

۴-۳-۳- وضعیت نفوذپذیری توده سنگ ساختگاه سد ۶۸

۴-۴-خصوصیات مهندسی مصالح پی ۷۰

۴-۴-۱- خصوصیات مصالح پی کنگلومرا ۷۰

۴-۴-۲-خصوصیات مصالح لایه‌های گلسنگ ۷۲

۴-۵-خصوصیات مهندسی مصالح سد ۷۴

۴-۵-۱- مصالح هسته سد ۷۴

۴-۵-۲-مصالح پوسته ۷۶

۴-۵-۳- مصالح انتقالی (زهکش وفیلتر) ۷۷

۴-۶-مشخصات ابزاربندی پی وبدنه ۷۸

۴-۶-۱-پیزومترهای سنگ (RP) ۷۸

۴-۶-۲- پیزومترهای داخل بدنه (EP) ۷۸

۴-۶-۳-پیزومترهای لوله ایستا (SP) ۸۰

۴-۶-۴-سلولهای فشارخاک کل(PC) ۸۰

۴-۶-۵- انحراف سنجهاونشست سنجها (I) ۸۰

۴-۶-۶- نقاط نشانه نقشه برداری (.B.M) ۸۱

۴-۶-۷- چاههای مشاهده‌ای ۸۱

۴-۶-۸- سیستم رفتارنگاری لرزه خیزی ۸۱

۴-۶-۹- سیستم ابزاربندی مقطع (۵-۵) و (۶-۶) ۸۲

فصل پنجم - بررسی عملکرد سد کرخه با نتایج ابزاردقیق و تحلیلهای عددی

۵-۱- مقدمه ۸۶

عنوان	صفحه

۵-۲- شبیه‌سازی سد کرخه بوسیله نرم‌افزار CA2 ..... ۸۷

۵-۲-۱- المان بندی ۸۷

۵-۲-۱-۱- المان‌بندی سد برای تحلیلها در محیط تنش کل ۸۷

۵-۲-۱-۲- المان‌بندی سد برای تحلیلها در محیط تنش موثر ۹۱

۵-۲-۲-انتخاب پارامترهای مصالح برای انجام تحلیلهای عددی ۹۳

۵-۲-۳- تحلیل حساسیت مدل نسبت به مقادیر مختلف ضریب پواسون و زاویه اتساع ۹۳

۵-۲-۴- مقایسه نتایج نرم‌افزار CA2 و Feadam ۹۷

۵-۳-ارزیابی فشارهای منفذی دربدنه سد ۹۷

۵-۳-۱- سازماندهی اطلاعات ۹۹

۵-۳-۲-بررسی فشارهای منفذی درمقطع (۵-۵)ایستگاه (۲۳۰+۱) ۱۰۱

۵-۳-۳-بررسی فشارهای منفذی درمقاطع دیگر ۱۰۹

۵-۳-۴- تاثیرآبگیری برفشارهای منفذی بدنه سد ۱۱۱

۵-۴- بررسی تغییر شکلها در سد ۱۱۲

۵-۴-۱- بررسی تغییر شکلها در مقطع (۵-۵) ۱۱۲

۵-۴-۱-۱- بررسی تغییر شکلهای قائم در مقطع (۵-۵) ۱۱۲

۵-۴-۱-۲- بررسی تغییر شکلهای افقی در مقطع (۵-۵) ۱۲۰

۵-۴-۲- بررسی نشستها در سایر مقاطع سد ۱۲۱

۵-۴-۳- بررسی نشستهای پی ۱۲۳

۵-۵-بررسی فشارهای کل در توده خاک ۱۲۴

۵-۵-۱- بررسی فشارهای کل در مقطع (۵-۵) ۱۲۴

۵-۵-۱-۱- فشارهای قائم کل در مقطع (۵-۵) ۱۲۴

۵-۵-۱-۲- بررسی فشارهای افقی در مقطع (۵-۵) ۱۳۴

عنوان	صفحه

۵-۵-۲- بررسی فشارهای کل در سایر مقاطع..... ۱۳۴

۵ -۶- بررسی عملکرد دیوار آب‌بند در اولین آبگیری..... ۱۳۷

۵-۶-۱- بررسی فشارهای پیزومتریک در توده‌های کنگلومرایی زیر گلسنگ (۲-)..... ۱۳۷

۵- ۶-۲- بررسی فشارهای پیزومتریک در توده کنگلومرایی بین لایه‌های گلسنگ (۱-)و(۲-)..... ۱۳۸

۵-۶ -۳- بررسی فشارهای پیزومتریک در توده کنگلومرایی بین لایه‌های گلسنگ (۲+)و(۱-)..... ۱۴۰

۵-۶ -۴- بررسی فشارهای پیزومتریک در توده کنگلومرایی بین لایه‌های گلسنگ (۳+)و(۲+)..... ۱۴۵

۵-۶ -۵- بررسی فشارهای پیزومتریک درتوده‌های کنگلومرایی بالای‌لایه گلسنگ (۳+)..... ۱۴۸

فصل ششم - نتیجه‌گیری و ارائه پیشنهادات

۶-۱-خلاصه ونتیجه‌گیری..... ۱۴۹

۶-۲- ارائه پیشنهادات..... ۱۵۲

مراجع..... ۱۵۳

فهرست شکلها

عنوان شکل **صفحه**

شکل (۲-۱) : مقطع عرضی سد (Lazici)..... ۹
شکل (۲-۲) : مقدار نشست در بالاترین‌صفحه انحراف سنج درمقطع میانی‌سد(Lazici) ۱۰
شکل (۲-۳) : فشارسنج لوله بوردون (Bourdon)..... ۱۲
شکل (۲-۴) : تصویر شماتیک از روشهای اندازه‌گیری هیدرولیکی..... ۱۳
شکل (۲-۵) : مبدل جریان بسته در حالت عادی(اندازه‌گیری در هنگام قطع جریان گاز) ۱۴
شکل (۲-۶) : مبدل‌جریان بسته‌درحالت عادی(اندازه‌گیری‌در هنگام برقراری جریان گاز) ۱۵
شکل (۲-۷) : مبدل پنوماتیکی جریان باز در حالت عادی..... ۱۶
شکل (۲-۸) :اجزا مبدل تار مرتعش..... ۱۷
شکل (۲-۹) : مدار پل وتستون..... ۱۹
شکل (۲-۱۰) : اجزاء اصلی چاه مشاهده‌ای..... ۲۰
شکل (۲-۱۱) : پیزومتر لوله ایستا نصب شده در گمانه..... ۲۲
شکل (۲-۱۲) : عمق‌سنج الکتریکی برای تعیین تراز آب در چاههای مشاهده‌ای و پیزومترهای لوله ایستا..... ۲۳
شکل (۲-۱۳) : قرائتگر موئینگی برای تعیین تراز آب در چاههای مشاهده‌ای و پیزومترهای لوله ایستا..... ۲۴
شکل (۲-۱۴) : قرائتگر رادیوئی برای تعیین تراز آب در چاههای مشاهده‌ای و پیزومترهای لوله ایستا..... ۲۴
شکل (۲-۱۵) : پیزومتر هیدرولیکی دو لوله‌ای نوع (Bishop) ۲۶
شکل (۲-۱۶) : پیزومتر پنوماتیکی..... ۲۷
شکل (۲-۱۷) : پیزومتر تار مرتعش..... ۲۸
شکل (۲-۱۸) : پیزومتر مقاومت الکتریکی..... ۲۹
شکل (۲-۱۹) : انواع اصلی سلولهای فشار (الف)- سلولهای دیافراگمی (ب)- سلولهای هیدرولیکی..... ۳۰
شکل (۲-۲۰) : سلول فشار توده خاک با مبدل تار مرتعش..... ۳۱
شکل (۲-۲۱) : سلول فشارکل خاک هیدرولیکی(الف)-بامبدل پنوماتیکی (ب)-با مبدل تار مرتعش..... ۳۱
شکل(۲-۲۲) : تاثیر نسبت شکل و نسبت سختی خاک به سلول در تعیین فشار خاک. ۳۲

عنوان شکل	صفحه

شکل(۲-۲۳) : فشار خاک ثبت شده توسط سلولهای فشار با قطرهای مختلف در سد Chicoasen ۳۳

شکل (۲-۲۴) : نحوه اندازه‌گیری تغییر شکل افقی سطوح مختلف توسط انحراف‌سنج.... ۳۶

شکل (۲-۲۵) : اجزاء مختلف سیستم انحراف‌سنج..... ۳۶

شکل (۳-۱) : ترتیب محاسبات در CA2..... ۴۱

شکل (۳-۲) : اعمال نیروی $F(t)$ به توده m و تولید شتاب $\ddot{u}$ ، سرعت $\dot{u}$ و تغییر مکان u..... ۴۳

شکل (۳-۳) : (الف)-اجزاء چهارگوش، (ب)- جزء مثلثی همراه بردارهای سرعت (ج)-بردار نیروهای گرهی..... ۴۵

شکل (۳-۴) : (الف) – گره A و اجزاء مثلثی اطراف آن (ب)- یک جزء مثلثی..... ۵۱

شکل (۳-۵) : جزء مثلثی و فشارهای گرهی..... ۶۰

شکل (۳-۶) : دو جفت اجزاء مثلثی در هر جزء چهار وجهی..... ۶۰

شکل (۴-۱) : بزرگترین مقطع عرضی سد کرخه در ایستگاه(۱+۲۳۰)..... ۶۵

شکل (۴-۲) : موقعیت سد کرخه. ۶۶

شکل (۴-۳) : وضعیت دیوار آب بند در طول محور سد..... ۷۱

شکل (۴-۴) : موقعیت مقاطع ابزار دقیق درطول محور سد..... ۷۹

شکل (۴-۵) :نحوه آرایش ابزارهای دقیق در مقطع (۵-۵)ایستگاه (۱+۲۳۰)..... ۸۴

شکل (۴-۶) :نحوه آرایش ابزارهای دقیق در مقطع (۶-۶)ایستگاه (۱+۲۳۰)..... ۸۵

شکل (۵-۱) : المان‌بندی مقطع عرضی (۵-۵) در تحلیل تنش کل..... ۸۸

شکل (۵-۲) : المان‌بندی هسته در تحلیل تنش کل..... ۸۸

شکل (۵-۳) : المان‌بندی پی در تحلیل تنش کل..... ۸۹

شکل (۵-۴) : المان‌بندی مقطع عرضی (۵-۵) بعد از اجرای فرازبند..... ۸۹

شکل (۵-۵) : المان‌بندی مقطع عرضی (۵-۵) بعد از اجرای لایه‌های مختلف خاکریزی ۸۹

شکل (۵-۶) : نحوه همگرایی مدلهای عددی در برنامه CA2 (الف)-مساله همگرا (ب)-مساله واگرا..... ۹۰

شکل (۵-۷) : المان‌بندی مقطع عرضی (۵-۵) در تحلیل تنش موثر..... ۹۲