بسم الله الرحمن الرحيم

٤٧١٩٤

۱۳۸۲ /۶/ ۲۰

دانشگاه تهران

دانشکده فنی

بررسی روشهای طراحی تونلهای تحت فشار انتقال آب به نیروگاهها در عمق روباره کم

نگارش : نعیمه جعفری فر

استاد راهنما : دکتر شهرام وهدانی

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

مهندسی عمران ـ سازه های هیدرولیکی

بهمن ۸۱

۴۷۱۹۴

به نام خدا

دانشگاه تهران

دانشکده ..... فنی .....

گروه آموزشی ..... عمران .....

گواهی دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد

هیات داوران پایان نامه کارشناسی ارشد آقای / خانم : نجمه جعفری مر .....

در رشته : مهندسی عمران ..... گرایش : سازه های هیدرولیکی .....

با عنوان : بررسی روش های طراحی تونلهای تحت فشار انتقال آب به نیروگاهها (مطالعه موردی کم .....

را در تاریخ : ۸۱/۱۱/۶ .....

به عدد	به حروف

با نمره نهایی:

و درجه ارزیابی نمود.

ردیف	مشخصات هیات داوران	نام و نام خانوادگی	مرتبه دانشگاهی	دانشگاه یا موسسه	امضاء
۱	استاد راهنما استاد راهنمای دوم (حسب مورد)	شهرام وهدانی	استادیار	گروه عمران دانشکده فنی	
۲	استاد مشاور	[illegible]	"	"	
۳	استاد مدعو (یا استاد مشاور دوم)				
۴	استاد مدعو	مرتضی قادری شریف	استادیار	دانشگاه علم و صنعت ایران	
۵	نماینده کمیته تحصیلات تکمیلی گروه آموزشی	محمدعلی [illegible]	استادیار	تهران - فنی	

تذکر : این برگه پس از تکمیل توسط هیات داوران در نخستین صفحه پایان نامه درج می گردد.

دانشکده فنی دانشگاه تهران
تحصیلات تکمیلی

می گویند که دانش اندوزی بهانه ماندن و توشه رفتن است

تقدیم به او که رفت ... به هنگام گل کردن بوته کوچك دانش من

... و پاسخی ناچیز به ایثار خالصانه پدر و مادر مهربان و زحمات بی دریغ همسر عزیزم

چکیده

در این پایان‌نامه سعی شده است پارامترهای تجربی معمول و روش‌های ساده شده در محاسبات تونل‌های انتقال آب به نیروگاه؛ که از طرفی در عمق روباره نسبتاکم قرار گرفته و از طرف دیگر فشار داخلی زیادی را تحمل می کنند مورد بررسی و تدقیق قرار گیرد . پوشش‌این تونل ها معمولا بصورت ترکیبی از پوشش فلزی و پوشش بتنی طراحی میگردند که فشار داخلی را به توده سنگ منتقل مینمایند . بدلیل نیاز به انتقال فشار زیاد به توده سنگ با روباره نسبتا کم محیط اطراف پوشش وارد بازه غیر خطی شده و تحلیل اندرکنش پوشش و سنگ پیچیده می گردد . در عمل این تحلیلها توسط فرضیات ساده کننده و برخی روابط نیمه تجربی صورت می گیرد که نیاز به تدقیق پارامترهای موثر و شناخت رفتار توده را مسجل می نماید .کوشش انجام شده در این پایان نامه علاوه بر رفتارسنجی ، شامل معرفی روش دقیق تر تحلیل با استفاده از بررسی های پارامتریک که به نوبه خود از تحلیلهای عددی دقیق استفاده می نمایند ، می باشد . نتیجه ارائه شده گام های تحلیل و جداول مورد نیاز برای پارامتر های طراحی را بدست می دهد.

تقدیر و تشکر:

اکنون که این پژوهش پس از تلاش های فراوان بـه ثمـر رسـید، بجاسـت کـه از زحمـات جناب آقای دکتر شهرام وهدانی استاد راهنمای پروژه که با راهنمائیهای ارزنده خـود در تمام مراحل انجام این تحقیق مرا یاری نمـوده انـد، تشـکر و قدردانـی نمـایم . بعـلاوه از استاد مدعو جناب آقای دکتر قارونی نیک و اساتید ممتحن آقایان دکـتر بنـی هاشـمی و دکتر فرزانه که در جلسه دفاع اینجانب حضور به هم رساندند کمال تشکر را دارم و نـیز از جناب آقای مهندس فـرخ ، جنـاب آقـای مـهندس کریمـی کارشـناس ارشـد سـازه و سرکار خانم مهندس البهشتی مدیریت محترم بخـش سـازه در شـرکت مهندسـی مشـاور مهاب قدس که از نظرات وکمکهای ارزشمندشان در انجام این پایان نامه بهره مند بـودم قدردانی می نمایم.

همچنین از زحمات فـراوان همسـرم جنـاب آقـای مـهندس علیرضـا بـاقری کـه درتمـامی مراحل انجام و به ثمر رسیدن این پایان نامه همیاری و همکاری فراوانی مبـذول نمودنـد، سپاسگذاری می نمایم.

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
• *مقدمه*	۲
• ***فصل اول:*** تونل‌های آب‌بر نیروگاه, بارگذاری و مشخصات پوشش آن‌ها	۷
۱-۱- تونل‌های آب‌بر تحت فشار	۸
۱-۲- انواع پوشش در تونل‌های آب‌بر تحت فشار و کاربری آن‌ها	۱۱
۱-۳- بارهای طراحی تونل‌های آب‌بر نیروگاه	۱۵
۱-۴- نمونه‌هایی از تونل‌های آب‌بر تحت فشار ساخته‌شده در نقاط مختلف جهان	۱۶
• ***فصل دوم:*** روش‌های موجود در تحلیل و طراحی تونل‌های آب‌بر نیروگاه تحت بار فشاری داخلی و نواقص آن‌ها	۲۲
۲-۱- روش‌های موجود در تحلیل و طراحی	۲۳
۲-۲- فرضیات ساده‌کننده در روش‌های موجود	۲۸
۲-۲-۱- فرض محیط همگن	۲۸
۲-۲-۲- استفاده از فرمول‌های نیمه تجربی در برآورد ابعاد ناحیه ترک خورده سنگ	۳۰
۲-۲-۳- صرفنظر کردن از تنش‌های برجا در توده سنگ در رویه محاسبات	۳۰
۲-۲-۴- فرض رفتار الاستیک برای مصالح	۳۱
• ***فصل سوم:*** روش‌های تدقیق فرضیات و ساده‌سازی‌ها در روش‌های موجود	۳۲
۳-۱- روش‌های تحلیل	۳۳
۳-۱-۱- راه‌حل‌های فرم بسته در تحلیل دو بعدی تونل‌ها	۳۴
۳-۱-۲- روش‌های عددی	۳۵
۳-۲- شرح روش‌های فرم‌بسته در محاسبه شعاع ناحیه خمیری در اطراف یک تونل دایره‌ای در شرایط تنش همگن و محاسبه همگرایی جداره تونل به سمت داخل	۳۵
۳-۲-۱- روش "بری"	۳۵
۳-۲-۲- روش "پانه"	۳۸
۳-۳- روش همگرایی -همجواری در بررسی اندرکنش پوشش و سنگدر تونل‌های بدون بارگذاری فشار آب داخلی	۴۰
۳-۳-۱- شرح روش همگرایی -همجواری	۴۱
۳-۳-۲- تاثیر نیروهای ثقلی در منحنی مشخصه زمین	۴۶

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

۳-۴- تعمیم روش همگرایی- همجواری به تونل‌های غیر دایروی ۴۸
۳-۵- تعمیم روش همگرایی-همجواری در حالت فشار غیرهیدرواستاتیکی ۴۸
۳-۶- تعمیم روش همگرایی-همجواری به تونل‌های با عمق روباره کم (محیط نیمه‌بینهایت) ۵۰
۳-۶-۱- بررسی‌های پارامتری ۵۲
۳-۶-۲- تعمیم روش همگرایی-همجواری با رسم منحنی رفتاری سنگ به روش عددی برای تونل با عمق روباره کم ۵۲
۳-۷- تعمیم روش همگرایی-همجواری برای تونل‌های با فشار داخلی ۶۹
- ***فصل چهارم:*** الگوریتم روش پیشنهادی در بررسی اندرکنش سازه و سنگ در تونل‌های تحت فشار آب داخلی ۷۱
۴-۱- مرحله اول- استخراج منحنی رفتاری سنگ ۷۳
۴-۲- مرحله دوم- استخراج منحنی رفتاری پوشش **۷۴**
۴-۳- مرحله سوم - اندرکنش پوشش و سنگ ۷۷
- ***فصل پنجم:*** مطالعه موردی ۸۷
۵-۱- دورنمای کلی ۸۸
۵-۲- داده‌های طراحی ۸۸
۵-۲-۱- داده‌های ژئوتکنیکی ۸۸
۵-۲-۲- داده‌های هیدرولیکی ۸۹
۵-۲-۳- داده‌های هیدرومکانیکی ۹۰
۵-۲-۴- خواص مصالح ۹۰
۵-۳- تکنیک‌های محاسباتی تحلیل تقسیم بار ۹۱
۵-۴- معیارهای طراحی انتخابی برای فشار هیدرولیکی داخلی ۹۲
۵-۴-۱- حالت بارگذاری ۹۲
۵-۴-۲- تنش‌های مجاز برای پوشش فلزی ۹۲
۵-۴-۳- فرضیات روش تحلیل تقسیم بار ۹۳
۵-۵- مقایسه نتایج با روش پیشنهادی ۹۴
- ***فصل ششم:*** نتیجه‌گیری و پیشنهاد ۱۰۵
۶-۱- جمع‌بندی نتایج ۱۰۶
۶-۲- پیشنهاد ۱۰۸
- ***فهرست منابع و مراجع*** ۱۰۹

فهرست اشکال

عنوان | صفحه

۱-۱- یک طرح نیروگاهی دو مرحله‌ای با دو نیروگاه زیرزمینی و تونل‌های انتقال ۸
۱-۲- یک طرح نیروگاهی سطحی همراه با تونل‌های انتقال آب ۹
۱-۳- یک طرح نیروگاهی سطحی همراه با تونل‌های انتقال آب ۹
۱-۴- یک طرح نیروگاهی سطحی همراه با تونل‌های انتقال آب در هند ۱۰
۱-۵- چرخه هیدرولیکی-مکانیکی بین تغییرشکل و نیروهای ناشی از تراوش آب از پوشش و سنگ در تونل‌های نیروگاه تحت فشار داخلی ۱۳
۱-۶- نحوه وقوع پدیده جک هیدرولیکی ۱۴
۱-۷- مقطع طولی تونل‌های Colliervile با نمایش انواع مقاطع به‌کاررفته (مقیاس افقی و قائم یکسان نمی‌باشد) ۱۸
۱-۸- شفت و تونل‌های تحتانی Colliervile (با مقیاس درست) ۱۸
۱-۹- مقطعی از تونل‌های آب‌بر نیروگاه در پروژه برقآبی Kol در هیمالیای جنوبی ۲۰
۱-۱۰- پروژه نیروگاهی Bath cornty ۲۰
۱-۱۱- مقطع طولی از تونل‌های آب‌برنیروگاه کارون ۴ ۲۱
۲-۱- توزیع فشار داخلی در پوشش فلزی، بتن دربرگیرنده و توده سنگ ۲۵
۲-۲- آنالیز سنگ ترک‌خورده برای پوشش فلزی ۲۷
۲-۳- نسبت تنش‌های افقی به قائم بر حسب عمق از آزمایشات تنش برجا در مناطق مختلف ۲۹
۳-۱- شرایط در نظر گرفته‌شده برای روش الاستوپلاستیک "بری" ۳۶
۳-۲- توزیع تنش در اطراف یک تونل دایروی در حالت الاستیک و الاستوپلاستیک ۴۰
۳-۳- منحنی رفتاری تونل (منحنی همگرایی) ۴۳
۳-۴- تاثیر وزن ناحیه خمیری در منحنی همگرایی ۴۴
۳-۵- منحنی اندرکنش پوشش و سنگ در روش همگرایی- همجواری ۴۵
۳-۶- مدل استفاده شده در آنالیز عددی ۵۳
۳-۷- ناحیه پلاستیک در آنالیز عددی در حالت همگن و عمیق ۵۶
۳-۸- ناحیه پلاستیک برای K_0 =1/3 , 0.5, 2/3, 1 و قطر ۶ متر و عمق روباره h =130 متر ۵۹
۴-۱- پوشش فلزی و پوشش بتنی ترک‌خورده در تونل‌های تحت فشار آب داخلی ۷۵

فهرست نمودارها

عنوان **صفحه**

۳-۱- نتایج حاصل از تست مدل، منحنی حاصل از آنالیز عددی در مقایسه با منحنی حاصل از روابط فرم‌بسته ۵۵

۳-۲- منحنی رفتاری سنگ به‌دست آمده از آنالیز عددی برای تونل سطحی، h =10m ، در مقایسه با منحنی رفتاری سنگ برای تونل عمیق به‌دست آمده از روابط فرم‌بسته ۶۳

۳-۳- منحنی رفتاری سنگ به‌دست آمده از آنالیز عددی برای تونل سطحی، h =20m ، در مقایسه با منحنی رفتاری سنگ برای تونل عمیق به‌دست آمده از روابط فرم‌بسته ۶۴

۳-۴- منحنی رفتاری سنگ به‌دست آمده از آنالیز عددی برای تونل سطحی، h =30m ، در مقایسه با منحنی رفتاری سنگ برای تونل عمیق به‌دست آمده از روابط فرم‌بسته ۶۵

۳-۵- منحنی رفتاری سنگ به‌دست آمده از آنالیز عددی برای تونل سطحی، h =40m ، در مقایسه با منحنی رفتاری سنگ برای تونل عمیق به‌دست آمده از روابط فرم‌بسته ۶۶

۳-۶- منحنی رفتاری سنگ به‌دست آمده از آنالیز عددی برای تونل سطحی، h =50m ، در مقایسه با منحنی رفتاری سنگ برای تونل عمیق به‌دست آمده از روابط فرم‌بسته ۶۷

۳-۷- منحنی رفتاری سنگ به‌دست آمده از آنالیز عددی برای تونل سطحی، h =60m ، در مقایسه با منحنی رفتاری سنگ برای تونل عمیق به‌دست آمده از روابط فرم‌بسته ۶۸

۴-۱- اندرکنش پوشش و سنگ در روش پیشنهادی ۷۹

۴-۲- تغییرشکل پسماند ثانویه، بزرگنمایی‌شده از نمودار (٤-۱) ۷۹

۴-۳- منحنی رفتاری سنگ برای K_0=1 و عمق روباره‌های مختلف ۸۰

۴-۴- منحنی رفتاری سنگ برای K_0=1/3 و عمق روباره‌های مختلف ۸۰

۴-۵- منحنی رفتاری سنگ برای K_0=1 و K_0=1/3 و عمق روباره ۱۳۰ متر ۸۲

۴-۶- منحنی رفتاری سنگ برای K_0=1 و K_0=1/3 و عمق روباره ۱۱۰ متر ۸۳

۴-۷- منحنی رفتاری سنگ برای K_0=1 و K_0=1/3 و عمق روباره ۹۰ متر ۸۴

۴-۸- منحنی رفتاری سنگ برای K_0=1 و K_0=1/3 و عمق روباره ۷۰ متر ۸۵

۴-۹- منحنی رفتاری سنگ برای K_0=1 و K_0=1/3 و عمق روباره ۵۰ متر ۸۶

۵-۱- منحنی‌های اندرکنش پوشش و سنگ برای E_r=10Gpa (مدول الاستیسیته سنگ و ضخامت‌های مختلف پوشش فلزی) ۹۷

۵-۲- منحنی‌های اندرکنش پوشش و سنگ برای E_r=5Gpa (مدول الاستیسیته سنگ و ضخامت‌های مختلف پوشش فلزی) ۹۸

۵-۳- منحنی‌های اندرکنش پوشش و سنگ برای E_r=2Gpa (مدول الاستیسیته سنگ و ضخامت‌های مختلف پوشش فلزی) ۹۹
۵-۴- درصد فشار داخلی تحمل‌شده توسط سنگ در روش پیشنهادی برای مدول الاستیسیته‌های مختلف ۱۰۰
۵-۵- درصد فشار داخلی تحمل‌شده توسط سنگ در روش موجود برای مدول الاستیسیته‌های مختلف ۱۰۱
۵-۶- درصد فشار داخلی تحمل‌شده توسط سنگ در روش موجود و روش پیشنهادی برای مدول الاستیسیته E_r=10Gpa ۱۰۲
۵-۷- درصد فشار داخلی تحمل‌شده توسط سنگ در روش موجود و روش پیشنهادی برای مدول الاستیسیته E_r=5Gpa ۱۰۳
۵-۸- درصد فشار داخلی تحمل‌شده توسط سنگ در روش موجود و روش پیشنهادی برای مدول الاستیسیته E_r=2Gpa ۱۰۴

فهرست جداول

عنوان

صفحه

۱-۱- عرض و فاصله تیپیکال ترک‌ها در پوشش بتنی ۱۲

۳-۱- نتایج حاصل از تست مدل ۵۶

۳-۲- نسبت شعاع ناحیه پلاستیک به قطر تونل برای $K_0=1$ از روابط فرم‌بسته برای نسبت h/d ثابت و قطرهای مختلف ۵۷

۳-۳- نسبت شعاع ناحیه پلاستیک به قطر تونل برای $K_0=1$ و عمق روباره ثابت از روابط فرم بسته ۵۸

۳-۴- بعد ناحیه پلاستیک برای K_0 و عمق‌های مختلف و نسبت h/d ثابت از آنالیز عددی ۶۰

۳-۵- بعد ناحیه پلاستیک برای عمق روباره و قطرهای مختلف ۶۱

۵-۱- پارامترهای ژئومکانیکی توده سنگ اطراف تونل‌های آب‌بر نیروگاه کارون ۴ ۸۹

۵-۲- درصد مشارکت سنگ و بتن در باربری و تنش رینگی ایجاد شده در پوشش فلزی برای ضخامت‌های مختلف پوشش فلزی در روش موجود ۹۴

۵-۳- درصد بار تحمل‌شده توسط سنگ برای مدول الاستیسیته‌های مختلف در روش موجود و روش پیشنهادی ۹۵

بررسی روشهای طراحی تونل های تحت فشار

نیروگاهها با عمق روباره کم

مقدمه

۱. مقدمه

توسعه روزافزون بهره‌گیری از نیروگاه‌های برق‌آبی ، شناخت دقیق‌تر مسائل مربوط به طراحی ایمن و اقتصادی سازه‌های وابسته به آن را ضروری مینماید . یکی از سازه‌های مرتبط ، تونل‌های انتقال آب می باشد . نیروگاه‌های هیدروالکتریک بسته به توپوگرافی و وضعیت سنگ در منطقه ممکن است سطحی یا زیرزمینی باشند. همچنین بسته به وضعیت مخزن و منطقه ممکن است نیروگاه در نزدیکی مخزن و یا در فواصل دور جانمایی شود، که در اکثر موارد به ناچار حتی تا چندین کیلومتر فاصله از مخزن می‌توان محل مناسبی برای نیروگاه در نظر گرفت. در این فاصله تونل‌های انتقال آب از اعماق وساختارهای زمین‌شناسی مختلف عبورمی کنند، به همین جهت انتخاب هندسه و وضعیت قرارگیری تونل‌ها و طرح بهینه سازه تونل در محل‌های مختلف ، نیازمند مطالعاتی جامع و همه جانبه‌است.

در تونل‌های آب بر نیروگاه که تحت فشار داخلی آب قرار دارند در قسمت‌هایی که عمق روباره کم است و پوشش نفوذپذیراست این امکان وجود داردکه فشارداخلی آب ، بر وزن روباره غالب شود و به دلیل نفوذپذیری پوشش ، فشارآب به داخل درزها و ناپیوستگی های سنگ نفوذ کرده و این درزها را توسعه دهد و رفته رفته تا سطح برساند. در این هنگام توده سنگ روی تونل دچار ناپایداری یا اصطلاحاً پدیده برکنش هیدرولیکی (hydro jacking) می شود .در اینگونه موارد استفاده از پوشش‌های نفوذناپذیری چون پوشش فلزی اجتناب ناپذیر است. طراحی بهینه اینگونه پوشش‌ها گاهی باعث صرفه جویی قابل توجهی در هزینه ها خواهد شد، علاوه بر اینکه با آنالیز دقیق‌تر، می توان از نحوه رفتار توده سنگ نیز تحت این بارگذاری خاص اطمینان حاصل نمود.

برای طرح مناسب این نوع پوشش ، یکی از مسائل مهم تعیین نحوه مشارکت پوشش