

چکیده پایان نامه

تونل‌ها و شفت‌های تحت فشار مجراهایی هستند، که برای انتقال سیالات، عموماً آب، تحت فشار حفاری می‌شوند. تونل‌ها و شفت‌های تحت فشار در ابتدا در صنعت هیدروالکتریک (نیروگاه‌های برق‌آبی) استفاده می‌شدند. اما اکنون برای انتقال آب مصرفی و ضایعات آبی استفاده می‌شوند. اما هنوز عمومی‌ترین استفاده از تونل‌ها و شفت‌های تحت فشار در طرح نیروگاه‌های برق‌آبی جهت انتقال آب از بالادست به نیروگاه در پایین دست است.

در کلیه آبراهه‌های تحت فشار بدون پوشش تراوش شکل می‌گیرد. در رابطه با تراوش، پوشش‌های شاتکریت، صفحات بتنی و بتنی مسلح نیز مانند تونل بدون پوشش عمل می‌کنند. زیرا در اثر آبرفتگی بتن و فشار آب داخلی این پوشش‌ها ترک خورده و نفوذپذیر می‌شوند. استفاده از شبکه میلگردهای تقویتی ترک‌ها را پخش خواهد کرد. و نفوذپذیری این پوشش‌ها کاهش خواهد یافت.

به هر حال، اگر پوشش نسبت به توده سنگ اطراف نفوذپذیر باشد، مقاومت کمی در برابر تراوش خواهد داشت، و فشار داخلی تونل تقریباً به طور کامل به توده سنگ انتقال خواهد یافت. هر امان توده سنگ از تمامی جهات تحت نیروهای حجمی تراوش قرار می‌گیرد. به دلیل وجود درزه‌ها و ترک‌ها در توده سنگ تحت تأثیر نیروی حجمی تراوش، نفوذپذیری توده سنگ عوض می‌شود. بنابراین در طول دوره‌های حفاری و نصب حایل و اعمال فشار نفوذپذیری توده سنگ در برگرفته تونل‌ها و شفت‌های تحت فشار تغییر می‌کند. این تغییرات نفوذپذیری به نوبه خود باعث تغییر در جریان تراوش و در نتیجه نیروی حجمی تراوش می‌شود.

یکی از روش‌های متداول در تحلیل تونل‌ها و شفت‌های تحت فشار روش استاتیکی است. در این روش فرض می‌شود، که پوشش ترک نخورده است، یا در مقایسه با توده سنگ شدیداً نفوذناپذیر است. بنابراین تمام هد داخلی در پوشش تلف می‌شود.

در این پایان‌نامه یک روش تحلیلی- عددی با فرض تقارن محوری و کرنش صفحه‌ای برای محاسبه اندرکنش هیدرومکانیکی تونل‌ها و شفت‌های تحت فشار ارائه می‌شود. در این مدل نیروی حجمی تراوش در پوشش و توده سنگ،

تغییرات نفوذپذیری توده سنگ به دلیل وجود کوپل هیدرومکانیکی، و نفوذپذیری وابسته به تغییر شکل پوشش به دلیل تاریخچه گسترش ترکها در پوشش بتن مسلح لحاظ شده است. در مدل ارائه شده مراحل اجرای تونلها و شفتهای تحت فشار لحاظ شده است.

بر مبنای مدل ارائه شده یک برنامه کامپیوتری با نام Pressure_tunnel برای تحلیل و طراحی تونلها و شفتهای تحت فشار نوشته شده است. در ادامه برنامه Pressure_tunnel با یک برنامه عددی کنترل می‌شود. به این ترتیب که تونل تحت فشار گلابر یک بار با استفاده از برنامه Pressure_tunnel تحلیل، و سپس در برنامه عددی Flac مدل و تحلیل می‌شود. و سرانجام نتایج دو تحلیل مقایسه و تفسیر می‌شوند. نتایج نشان می‌دهد، که اگر از روش تحلیل استاتیکی برای طراحی تونلها و شفتهای تحت فشار استفاده شود، ایمنی طرح پایین می‌آید. همچنین تراوش با افزایش سهم بار توده سنگ ظرفیت باربری تونلهای تحت فشار را کاهش می‌دهد. مشاهده می‌شود که نتایج برنامه Pressure_tunnel بین نتایج تحلیل در سقف و کف و جدار قرار دارد. سپس تحلیل پارامتری انجام می‌شود. مشاهده می‌شود، که با افزایش نفوذپذیری پوشش تنشهای کششی در پوشش افزایش می‌یابند. سهم بار توده سنگ نیز از فشار داخلی افزایش می‌یابد. با افزایش نفوذپذیری تغییر شکلهای پوشش و توده سنگ میزان کمی افزایش می‌یابند. سپس تأثیر کوپل هیدرومکانیکی و نیروی تراوش بر نتایج تحلیل مکانیکی و هیدرولیکی بررسی می‌شود. مشاهده می‌شود، که کوپل هیدرومکانیکی و نیروی تراوش بر نتایج تحلیل مکانیکی کم اثر است، ولی بر نتایج تحلیل هیدرولیکی شامل فشار آب منفذی و نرخ تراوش شدیداً مؤثر است.

فصل اول: مقدمه

- ۱-۱- کلیات ۱
- ۲-۱- بیان مسأله ۴
- ۳-۱- محدوده و اهداف پژوهش ۵
- ۴-۱- معرفی فصل‌های مختلف پایان نامه ۶

فصل دوم: تراوش و فشار آب منفذی در تونلها و شفتهای تحت فشار

- ۱-۲- کلیات ۷
- ۲-۲- تراوش بیش از اندازه ۸
- ۳-۲- تأثیر تاریخچه تراوش و فشار آب منفذی در تحلیل تونلها و شفتهای تحت فشار ۹
- ۱-۳-۲- نیروی تراوش به عنوان نیروی حجمی وارد بر تونل ۹
- ۲-۳-۲- روش محاسبه با در نظر گرفتن تراوش ۱۱
- ۴-۲- تحلیل تراوش در شفتهای تحت فشار ۱۲
- ۵-۲- تحلیل تراوش در تونلهای تحت فشار زیر سطح آب زیرزمینی ۱۳
- ۱-۵-۲- روش تحلیلی فرناندز و آوارز ۱۴
- ۲-۵-۲- روش تحلیلی کولیمباس و واگنر ۱۹
- ۶-۲- تحلیل تراوش در تونلهای تحت فشار بالاتر از سطح آب زیرزمینی ۲۵
- ۱-۶-۲- روش تحلیلی بوارد و نیکوت ۲۵

فصل سوم: روشهای تحلیل نظری تونلها و شفتهای تحت فشار نفوذپذیر

- ۱-۳- کلیات ۳۱
- ۲-۳- روش استاتیکی تحلیل تونلها و شفتهای تحت فشار ۳۱
- ۳-۳- روش تحلیلی فرناندز و الوارز ۳۲
- ۱-۳-۳- اندرکنش هیدرولیکی زمین-پوشش ۳۲
- ۲-۳-۳- اندرکنش مکانیکی زمین-پوشش ۳۲

۳۵	۳-۴-روش تحلیلی اشلیس
۳۵	۳-۴-۱- قانون استوانه نفوذپذیر جدار ضخیم
۳۶	۳-۴-۲- معادله دیفرانسیل تغییر شکل شعاعی
۳۸	۳-۴-۳- تنشها و تغییر شکلها
۴۱	۳-۴-۴- تأثیر بارهای مکانیکی مرزی علاوه بر فشار آب
۴۲	۳-۴-۵- تونل تحت فشار با پوشش بتنی نفوذپذیر ترک نخورده
۴۲	۳-۴-۶- تأثیر ترک بر پوشش
۴۳	۳-۴-۷- طراحی حایلهای بتن مسلح نفوذپذیر بر پایه روش اشلیس
۴۳	۳-۴-۸- مدل محساباتی و فرضیات
۴۵	۳-۴-۹- ترک خوردگی اولیه پوشش
۴۷	۳-۴-۱۰- اتلاف هد در پهنای پوشش ترک خورده و میزان تراوش از تونل
۴۹	۳-۴-۱۱- سهم بار مسلح کننده
۵۳	۳-۴-۱۲- فشار بین مسلح کننده و بتن
۵۳	۳-۴-۱۳- پهنای ترک در پوشش بتنی
۵۳	۳-۴-۱۴- محاسبه پهنای و فاصله ترکها
۵۵	۳-۴-۱۵- روش محاسبه با استفاده از روابط اشلیس
۵۶	۳-۵-روش تحلیل پلاستیک براون و بری
۵۷	۳-۵-۱- فرضیات هندسی و بارگذاری تحلیل
۵۸	۳-۵-۲- نفوذپذیری
۶۰	۳-۵-۳- الگوی تراوش و فشار آب منفذی
۶۰	۳-۵-۴- معیار تسلیم
۶۱	۳-۵-۵- مدل رفتاری و قانون جریان
۶۳	۳-۵-۶- تحلیل تونل یا شفت تحت فشار پس از حفاری و نصب حایل

۶۷ ۳-۵-۷- تحلیل تونل یا شفت تحت فشار پس از اعمال فشار آب داخلی

فصل چهارم: اندرکنش هیدرومکانیکی پوشش - توده سنگ

۷۱ ۴-۱- کلیات

۷۱ ۴-۲- روش کلی تحلیل در شرایط تقارن محوری

۷۳ ۴-۳- فرضیات هندسی و مکانیکی مدل

۷۵ ۴-۴- تحلیل تونل و شفت های تحت فشار پس از حفاری و نصب حایل

۷۵ ۴-۴-۱- تحلیل تنش و کرنش

۷۹ ۴-۴-۲- تحلیل تراوش و فشار آب حفره‌ای

۸۵ ۴-۵- تحلیل تونل و شفت های تحت فشار در مرحله بهره‌برداری (اعمال فشار)

۸۵ ۴-۵-۱- تحلیل تنش و کرنش قبل از شکل‌گیری ترک در پوشش

۸۸ ۴-۵-۲- تحلیل تراوش و فشار آب حفره‌ای قبل از شکل‌گیری ترک در پوشش

۹۴ ۴-۵-۳- شکل‌گیری ترکها در پوشش

۹۵ ۴-۵-۴- تحلیل تنش و کرنش بعد از شکل‌گیری ترک در پوشش

۹۷ ۴-۵-۵- تحلیل تراوش و فشار آب حفره‌ای بعد از شکل‌گیری ترک در پوشش

فصل پنجم: برنامه تحلیل تونل‌ها و شفت‌های تحت فشار با پوشش نفوذپذیر

۱۰۴ ۵-۱- کلیات

۱۰۵ ۵-۲- ورود و خروج اطلاعات

۱۰۶ ۵-۳- مرحله ساخت

۱۰۶ ۵-۳-۱- تحلیل تونل یا شفت بالاتر از سطح آب زیرزمینی

۱۰۷ ۵-۳-۲- تحلیل تونل یا شفت زیر سطح آب زیرزمینی

۵-۴- مرحله بهره‌برداری

۱۰۸

فصل ششم: کنترل برنامه pressure_tunnel

- ۱۱۲ ۱-۶- کلیات
- ۱۱۲ ۲-۶- معرفی برنامه 'FLAC'
- ۱۱۳ ۲-۶- محاسبه پارامترهای ژئومکانیکی توده سنگ
- ۱۱۳ ۱-۳-۶- طبقه بندی CSIR
- ۱۱۳ ۲-۳-۶- طبقه بندی NGI
- ۱۱۶ ۴-۶- تشکیل مدل
- ۱۱۷ ۵-۶- سیر اجرا و مراحل تحلیل
- ۱۱۷ ۱-۵-۶- تعادل اولیه
- ۱۱۹ ۲-۵-۶- حفاری
- ۱۲۳ ۳-۵-۶- نصب پوشش
- ۱۲۳ ۴-۵-۶- اعمال فشار آب داخلی
- ۱۲۶ ۶-۶- مقایسه با روش‌های تحلیلی
- ۱۲۹ ۷-۶- تحلیل حساسیت
- ۱۳۰ ۱-۷-۶- بررسی اثر نسبت مدول الاستیسیته پوشش به مدول تغییر شکل پذیری توده سنگ
- ۱۳۱ ۲-۷-۶- بررسی اثر نسبت نفوذپذیری پوشش به توده سنگ
- ۱۳۳ ۳-۷-۶- بررسی اثر ضخامت پوشش
- ۱۳۶ ۸-۶- طراحی پوشش با استفاده از برنامه pressure_tunnel
- ۱۴۱ ۹-۶- بررسی تأثیرات کوپل هیدرومکانیکی و نیروی تراوش
- ۱۴۲ ۱-۹-۶- تأثیر کوپل هیدرومکانیکی بر رفتار مکانیکی پوشش و توده سنگ
- ۱۴۴ ۲-۹-۶- تأثیر کوپل هیدرومکانیکی بر رفتار هیدرولیکی پوشش و توده سنگ
- ۱۴۶ ۱۰-۶- بررسی اثر عمق

فصل هفتم: نتیجه گیری و پیشنهاد

۱۴۸ ۱-۷- کلیات

۱۴۸ ۲-۷- خلاصه تحقیق و نتیجه گیری

مراجع:

۱۵۳ مراجع

فصل اول

مقدمه

۱-۱- کلیات

تونل‌ها و شفت‌های تحت فشار مجراهایی هستند، که برای انتقال سیالات، عموماً آب، تحت فشار حفاری می‌شوند. تونل‌ها و شفت‌های تحت فشار در ابتدا در صنعت هیدروالکتریک (یا نیروگاه‌های برق‌آبی) استفاده می‌شدند. اما اکنون برای انتقال آب مصرفی و ضایعات آبی نیز استفاده می‌شوند. هنوز عمومی‌ترین استفاده از تونل‌ها و شفت‌های تحت فشار در طرح نیروگاه‌های برق‌آبی برای انتقال آب از بالادست به نیروگاه در پایین دست است. طرح نمونه‌ای از نقشه تونل و شفت تحت فشار در یک پروژه نیروگاه زیرزمینی هیدروالکتریک در شکل ۱-۱ نمایش داده شده است. فشار اعمال شده به دیواره‌های تونل شامل فشار استاتیکی و فشار دینامیکی است. فشار استاتیکی از تفاوت هد آب بالادست و پایین دست و فشار دینامیکی از تغییرات ناگهانی جریان آب داخل تونل به وجود می‌آید. انتقال آب به صورت تحت فشار در بیشتر موارد ترجیح داده می‌شود. دلیل آن این است که در صورت استفاده از تونل با جریان آزاد، علاوه بر اینکه قطر تونل به طور قابل ملاحظه‌ای افزایش می‌یابد. تمهیدات دیگری نیز لازم خواهد بود. دلیل دیگر استفاده از تونل‌های تحت فشار کاستن از حجم عملیات حفاری است. چون در صورتی که قطر تونل بزرگ

باشد، استفاده از تجهیزات ویژه لازم است. همچنین برای جلوگیری از هزینه‌های بیشتر و برای مقابله با ناپایداریها ترجیح داده می‌شود، که از تونل تحت فشار استفاده شود.

این تونلها ممکن است از توده سنگ یا خاک با توپوگرافی و میزان روباره مختلف عبور کنند. از لحاظ مهندسی ژئوتکنیک طراحی و اجرای اینگونه تونلها بنحویکه در طول عمر مفید پروژه ایمن باشند، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

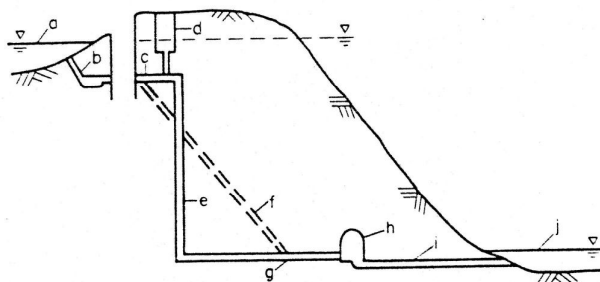
از نظر پایداری، فشار هیدرولیکی (اعم از استاتیکی و دینامیکی) داخل تونل تحت فشار اساسی‌ترین عامل ناپایداری توده سنگ اطراف تونل است. و ممکن است باعث ایجاد پدیده جک هیدرولیکی، تراوش بیش از اندازه و فشار حفره‌ای بیش از حد گردد.

در کلیه آبراهه‌های تحت فشار بدون پوشش تراوش شکل می‌گیرد. از نظر تراوش پوششهای شاتکریت، صفحات بتنی و بتنی مسلح نیز مانند تونل بدون پوشش عمل می‌کنند. زیرا در اثر آبرفتگی بتن و فشار آب داخلی این پوشش‌ها ترک خورده و نفوذپذیر می‌شوند. استفاده از سیستم تسلیح ترکها را پخش خواهد کرد. و نفوذپذیری این پوششها کاهش خواهد یافت.

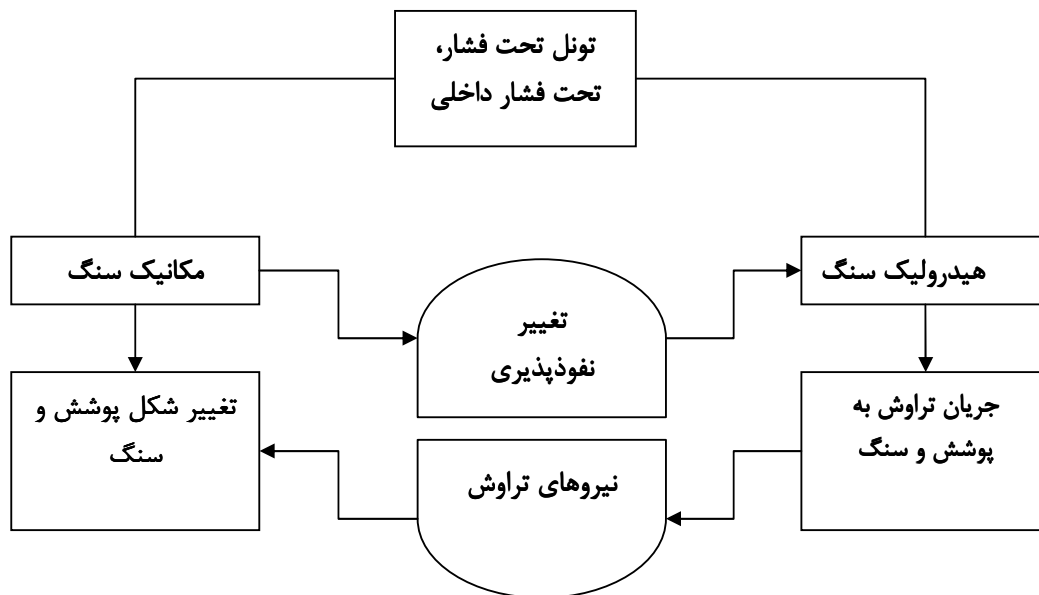
به هر حال، اگر پوشش نسبت به توده سنگ اطراف نفوذپذیر باشد، مقاومت کمی در برابر تراوش خواهد داشت. و فشار داخلی تونل تقریباً به طور کامل به توده سنگ انتقال خواهد یافت.

معمولاً در تحلیل و طراحی پوشش بتنی تونلها و شفتهای تحت فشار، بار آب به شکل بار مکانیکی مرزی در نظر گرفته می‌شود، که به سطح داخلی و خارجی پوشش وارد می‌شود. این روش طراحی به روش استاتیکی موسوم است. در روشهای براون و بری (Brown and Bray, 1982) و اشلیس (Schleiss, 1997) نیروی حجمی تراوش در نظر گرفته شده است. اشلیس با تکیه بر رفتار الاستیک و هموزن توده سنگ و با در نظر گرفتن تاریخچه توزیع ترک و پهنای آن کوپل هیدرومکانیکی در پوشش را در نظر گرفت. اشلیس سیر اجرا و کوپل هیدرومکانیکی در نتیجه تغییرات نفوذپذیری توده سنگ پلاستیک را در نظر نگرفت. همچنین براون و بری رفتار توده سنگ را الاستو پلاستیک در نظر گرفتند. آنها با در نظر گرفتن تغییرات نفوذپذیری در نواحی پلاستیک کوپل هیدرومکانیکی در توده سنگ را در نظر گرفتند (شکل ۱-۲). ولی در مدل خود روابط دقیقی برای محاسبات مکانیکی و هیدرولیکی پوشش ارائه نکردند. در نتیجه شرایط مرزی در محل تماس پوشش-توده سنگ را به دقت مشخص نکردند.

در این پایان‌نامه بر پایه روشهای اشلیس و براون و بری در محل تماس سنگ-پوشش مدل جدیدی ارائه گردیده است، که در آن ضعفهای روشهای فوق رفع شده است. در مدل مذکور با توجه به اینکه تونل یا شفت بالاتر و یا پایینتر از سطح آب زیرزمینی است، از روابط اصلاح شده برای توزیع فشار آب منفذی استفاده شده است. در این راستا کوپل هیدرومکانیکی در توده سنگ، یعنی تأثیر نیروی حجمی تراوش بر نفوذپذیری توده سنگ و همچنین مراحل اجرا شامل مراحل حفاری و بهره‌برداری در محاسبات در نظر گرفته شده است.



شکل ۱-۱- طرح نمونه‌ای از تونل و شفت تحت فشار در یک پروژه نیروگاه زیرزمینی هیدروالکتریک. a : مخزن بالادست، b : دهانه آبگیر، c : تونل تحت فشار با فشار پایین، d : مخزن تعادل، e : شفت قائم تحت فشار، f : شفت مایل تحت فشار، g : تونل تحت فشار با فشار بالا، h : نیروگاه زیرزمینی، i : تونل هدایت آب به خارج، j : مخزن پایین‌دست (Brekke, 1987).



شکل ۱-۲- کوپل مکانیکی- هیدرولیکی ایجاد شده در توده سنگ اطراف تونلها وشفتهای تحت فشار (Schleiss, 1986).

۱-۲- بیان مسأله

در اغلب مطالعات و راه‌حل‌های ارائه شده برای تحلیل پایداری تونل‌ها و شفت‌ها، اعم از تحت فشار یا عادی، موسوم به تحلیل استاتیکی از اثر فشار آب حفره‌ای، تراوش و گرادیان تراوش صرف نظر می‌شود. در حالیکه اثرات آب اعم از آب تحت فشار یا آب زهکشی شده بدون فشار، بر روی رفتار و عملکرد تونل‌ها و شفت‌ها، خصوصاً وقتی که از داخل نیز تحت فشار باشند شدید بوده و نمی‌توان از اثرات آن صرف نظر نمود. دلیل آن اینست، که در پوشش‌های نفوذپذیر در مقایسه با پوشش‌های نفوذناپذیر فشار آب داخلی، نه تنها به سطح مرزی وارد می‌شود، بلکه به شکل نیروهای حجمی هیدرولیکی به توده سنگ و پوشش نیز بار وارد می‌کند. هر المان کوچک از توده سنگ از همه جهات تحت فشار آب است (شکل ۱-۳).

در طراحی تونل‌ها و شفت‌های تحت فشار سه معیار میزان آب نشتی از تونل، ترک در پوشش و ظرفیت باربری تونل یا معیار محصور شدگی (تعیین حداقل عمق مجاز تونل) باید کنترل شود.

۱- میزان نشت تابع نفوذپذیری پوشش و توده سنگ و سطح آب زیرزمینی است. نفوذپذیری توده سنگ در نتیجه آب تراوش یافته تابع کرنش حجمی پلاستیک آن، و نفوذپذیری پوشش تابع توزیع ترک در پوشش است.

۲- پهنای ترک در پوشش نیز از شرط سازگاری تغییرشکلها در مرز سنگ-پوشش بدست می‌آید. تغییر شکل پلاستیک جدار سنگ تحت تأثیر نیروی تراوش است.

۳- برای معیار ظرفیت باربری توده سنگ نیز معمولاً مرسوم است، که فشار داخلی وارده بر پوشش با سربار محلی مقایسه شود. ولی این معیار تخمینی در حالت کلی قابل قبول نیست. و باید سهم بار سنگ از فشار داخلی دقیقاً تعیین شود. اساساً ظرفیت باربری تونل‌های تحت فشار نفوذپذیر از تونل‌های نفوذناپذیر با سربار یکسان کمتر است. چون حوزه تأثیر اطراف تونل در اثر تراوش افزایش می‌یابد.

مطالب ذکر شده نشان می‌دهد، که برای طرح مناسب تونل‌ها و شفت‌های تحت فشار انجام یک تحلیل دقیق با در نظر گرفتن رفتار واقعی پوشش و توده سنگ و نیروی تراوش لازم است.