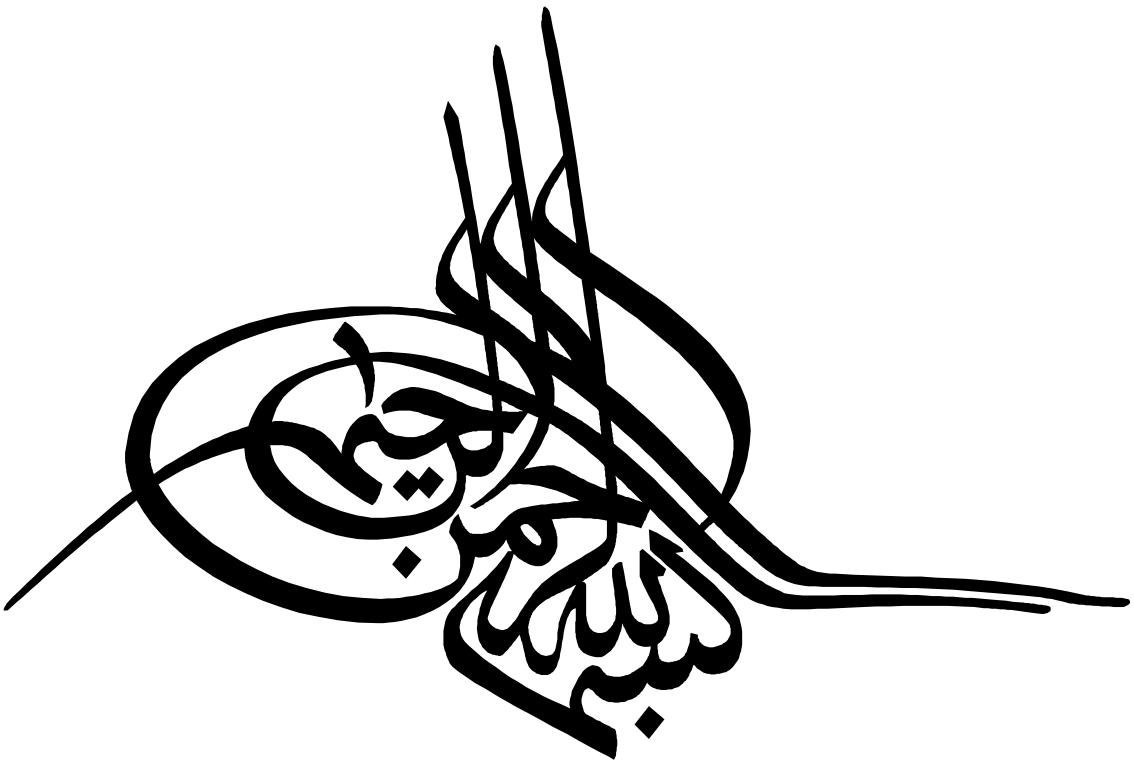

بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه صنعتی امیرکبیر
(پلی تکنیک تهران)

دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست

پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد

تحلیل پایداری تونل‌های تحت فشار با در نظر گرفتن اندر کنش پوشش – توده سنگ و استخراج روابط لازم

توسط:

محمدرضا زارعی فرد

۸۳۱۲۴۱۴۴

استاد راهنما:

جناب دکتر فهیمی‌فر

اسفند ۸۵

بسمه تعالی

فرم اطلاعات پایان‌نامه

کارشناسی ارشد و دکترا

دانشگاه صنعتی امیرکبیر
(پلی تکنیک تهران)
معاونت پژوهشی

تاریخ: ۱۳۸۶/۰۶/۲۰

پیوست:.....

نام و نام‌خانوادگی: محمدرضا زارعی فرد **دانشجوی: آزاد (■) بورسیه (...) معادل (...)**

شماره دانشجویی: ۸۳۱۲۴۱۴۴ **دانشکده**:عمران **رشته تحصیلی**: خاک و پی

نام و نام‌خانوادگی استاد راهنما: دکتر احمد فهیمی فر

عنوان پایان‌نامه به فارسی: **تحلیل پایداری تونل‌های تحت فشار با در نظر گرفتن اندر کنش پوشش – توده سنگ و استخراج روابط لازم**

عنوان پایان‌نامه به انگلیسی:

Stability Analysis of Pressure Tunnels and Shafts, Consideing the Interaction between Lining and Rock, and Deriving Required Relations.

کارشناسی ارشد (×)

دکتـــــــــرا (...)

نوع پروژه: کاربردي (■) بنيادي (...) توسعه‌اي (...) نظري (...)

تاریخ شروع: **۸۴/۷/۱** تاریخ خاتمه: **۸۵/۱۱/۲۵** تعداد واحد: ٦

سازمان تأمین کننده اعتبار:

واژه‌های کلیدی به فارسی: : **تونل و شفت تحت فشار، تحلیل پایداری، اندرکنش هیدرومکانیکی، تراوش، کوپل هیدرومکانیکی**

واژه‌های کلیده به انگلیسی:

pressure tunnel and shaft, Stability Analysis, seepage, mechanical-hydraulic coupling, mechanical-hydraulic interaction

نظرها و پیشنهادها به منظور بهبود فعالیت‌های پژوهشی دانشگاه:

استاد راهنما: : احمد فهیمی‌فر

دانشجو: محمد رضا زارعی‌فرد جهرمی

امضاء استاد راهنما: **تاریخ**: ۱۳۸۶/۰۶/۲۰

نسخه ۱: معاونت پژوهشی

نسخه ۲: کتابخانه و به انضمام دو جلد پایان‌نامه به منظور تسویه حساب با کتابخانه و مرکز اسناد و مدارک علمی

تشکر و تقدیر:

بدین وسیله از استاد ارجمند جناب آقای دکتر فهیمی‌فر، استاد دانشکده عمران و محیط زیست دانشگاه صنعتی امیرکبیر که با راهنمایی‌ها و نظرات ارزشمندشان و ایجاد جوی دوستانه و علمی مرا در انجام این پایان‌نامه یاری کردند، تشکر و قدردانی می‌نمایم.

در طول این دوره تحصیلی مانند سایر مراحل زندگی‌ام از حمایت‌ها و راهنمایی‌های پدر بزرگوار، مادر دلسوز، و برادر و خواهران عزیزم برخوردار بوده‌ام، بدین وسیله از کلیه این عزیزان تشکر و سپاسگذاری می‌نمایم.

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 پوشش ها ترک خورده و نفوذپذیر می‌شوند. استفاده از شبکه میلگردهای تقویتی ترکها را پخش خواهد کرد. و نفوذپذیری این پوششها کاهش خواهد یافت.

به هرحال، 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 المان 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 برگیرنده 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 نفوذناپزیر 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 تغییرشکل پوشش به

دلیل تاریخچه گسترش ترکها در پوشش بتن مسلح لحاظ شده است. در مدل ارائه شده سیر اجرای تونلها و شفتهای تحت فشار لحاظ شده است.

در این مدل رفتار توده سنگ الاستو پلاستیک با نرم شوندگی کرنش از نقطه پیک در نظر گرفته می‌شود.

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 وتحلیل 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 می-یابند. همچنین مشاهده شد که با افزایش عمق تونل از سطح آب زیرزمینی نتایج تحلیل در سقف و کف و جدار به نتایج برنامه Pressure_tunnel نزدیک می‌شود. سپس با استفاده از روش ارائه شده و برنامه Pressure_tunnel تونل تحت فشار گلابر تحلیل و طراحی شده است. از پوشش بتن مسلح به ضخامت ۳۰ سانتیمتر و میلگردهای حلقوی با قطر ۱۶ میلیمتر و فاصله ۱۶ سانتیمتر استفاده می‌شود. 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-بیان مسأله

۱-۳-محدوده و اهداف پژوهش

۱-۴-معرفی فصل‌های مختلف پایان نامه

فصل دوم: زمین شناسی و خصوصیت ژئوتکنیکی زمین تونل تحت فشار گلابر

۲-۱-کلیات

۲-۲-موقعیت تونل تحت فشار گلابر

۲ـ۳ـ زمین شناسی ناحیه‌ای

۲ـ۴- زمین ریخت شناسی ساختگاه

۲ـ۵ـ زمین ساخت ساختگاه

۲ـ۶ـ مطالعات انجام شده در ساختگاه

۲ـ۷ـ سیستم انحرافی

۲ـ۸ـ پارمترهای ژئومکانیکی

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

۳-۱-کلیات

۳-۲-تراوش بیش از اندازه

۳-۳-تأثیر تاریخچه تراوش و فشار آب منفذی در تحلیل تونلها وشفتهای تحت فشار

۳-۳-۱-نیروی تراوش به عنوان نیروی حجمی وارد بر تونل

۳-۳-۲-روش محاسبه با در نظر گرفتن تراوش

۳-۴-تحلیل تراوش در شفتهای تحت فشار

۳-۵-تحلیل تراوش در تونلهای تحت فشار زیر سطح آب زیرزمینی

۳-۵-۱-روش تحلیلی فرناندز و آلوارز

۳-۵-۲-روش تحلیلی کولیمباس و واگنر

۳-۶-تحلیل تراوش در تونلهای تحت فشار بالاتر از سطح آب زیرزمینی

۳-۶-۱-روش تحلیلی بوارد و نیکوت

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

۴-۱-کلیات

۴-۲-روش استاتیکی تحلیل تونلها و شفتهای تحت فشار

۴-۳-روش تحلیلی فرناندز و الوارز

۴-۳-۱-اندرکنش هیدرولیکی زمین-پوشش

۴-۳-۲-اندرکنش مکانیکی زمین-پوشش

۴-۴-روش تحلیلی اشلیس

۴-۴-۱- قانون استوانه نفوذپذیر جدار ضخیم

۴-۴-۲- معادله دیفرانسیل تغییر شکل شعاعی

۴-۴-۳-تنشها و تغییر شکلها

۴-۴-۴-تأثیر بارهای مکانیکی مرزی علاوه بر فشار آب

۴-۴-۵-تونل تحت فشار با پوشش بتنی نفوذپذیر ترک نخورده

۴-۴-۶-تأثیر ترک بر پوشش

۴-۴-۷- طراحی حایلهای بتن مسلح نفوذپذیر بر پایه روش اشلیس

۴-۴-۸-مدل محساباتی و فرضیات

۴-۴-۹- ترک خوردگی اولیه پوشش

۴-۴-۱۰-اتلاف هد در پهنای پوشش ترک خورده و میزان تراوش از تونل

۴-۴-۱۱-سهم بار مسلح کننده

۴-۴-۱۲-فشار بین مسلح کننده و بتن

۴-۴-۱۳- پهنای ترک در پوشش بتنی

۴-۴-۱۴-محاسبه پهنا و فاصله ترکها

۴-۴-۱۵ روش محاسبه با استفاده از روابط اشلیس

۴-۵-روش تحلیل پلاستیک براون و بری

۴-۵-۱- فرضیات هندسی و بارگذاری تحلیل

۴-۵-۲-نفوذپذیری

۴-۵-۳- الگوی تراوش و فشار آب منفذی

۴-۵-۴-معیار تسلیم

۴-۵-۵- مدل رفتاری و قانون جریان

۴-۵-۶-تحلیل تونل یا شفت تحت فشار پس از حفاری و نصب حایل

۴-۵-۷-تحلیل تونل یا شفت تحت فشار پس از اعمال فشار آب داخلی

فصل پنجم: اندرکنش هیدرومکانیکی پوشش- توده سنگ

۵-۱-کلیات

۵-۲-روش کلی تحلیل در شرایط تقارن محوری

۵-۳-فرضیات هندسی و مکانیکی مدل

۵-۴-تحلیل تونل و شفت های تحت فشار پس از حفاری و نصب حایل

۵-۴-۱-تحلیل تنش و کرنش

۵-۴-۲- تحلیل تراوش و فشار آب حفره‌ای

۵-۵-تحلیل تونل وشفت های تحت فشار در مرحله بهربرداری(اعمال فشار)

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

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

۵-۵-۳-شکل گیری ترکها در پوشش

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

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

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

۶-۱-کلیات

۶-۲-ورود و خروج اطلاعات

۶-۳-مرحله ساخت

۶-۳-۱-تحلیل تونل یا شفت بالاتر از سطح آب زیرزمینی

۶-۳-۲-تحلیل تونل یا شفت زیر سطح آب زیرزمینی

۶-۴-مرحله بهره‌برداری

۶-۵-کنترل مدل ارائه شده با روش اشلیس و براون و بری

۶-۵-۱-کنترل برنامه با روش محاسباتی براون و بری

۶-۵-۲-کنترل برنامه pressure_tunnel با روش اشلیس (برنامه ptl1)

۶-۶-مقایسه مدل ارائه شده با مدلهای اشلیس و براون و بری

فصل هفتم: کنترل برنامه pressure_tunnel

۷-۱-کلیات

۷-۲-معرفی برنامه 'FLAC'

۷-۲-محاسبه پارامترهای ژئومکانیکی توده سنگ

۷-۳-۱-طبقه بندی CSIR

۷-۳-۲-طبقه بندی NGI

۷-۴-تشکیل مدل

۷-۵-سیر اجرا و مراحل تحلیل

۷-۵-۱-تعادل اولیه

۷-۵-۲-حفاری

۷-۵-۳-نصب پوشش

۷-۵-۴-اعمال فشار آب داخلی

۷-۶-مقایسه با روش‌های تحلیلی

۷-۷-تحلیل حساسیت

۷-۷-۱-بررسی اثر نسبت مدول الاستیسیته پوشش به مدول تغییر شکل‌پذیری توده سنگ

۷-۷-۲-بررسی اثر نسبت نفوذپذیری پوشش به توده سنگ

۷-۷-۳-بررسی اثر ضخامت پوشش

۷-۷-۴-بررسی اثر عمق از سطح آب زیرزمینی

۷-۸- طراحی پوشش با استفاده از برنامه pressure_tunnel

۷-۹-بررسی تأثیرات کوپل هیدرومکانیکی و نیروی تراوش

۷-۹-۱- تأثیر کوپل هیدرومکانیکی بر رفتارمکانیکی پوشش و توده سنگ

۷-۹-۲- تأثیر کوپل هیدرومکانیکی بر رفتار هیدرولیکی پوشش و توده سنگ

فصل هشتم: نتیجه‌گیری و پیشنهاد

۸-۱-کلیات

۸-۲-خلاصه تحقیق و نتیجه‌گیری

۸-۳-پیشنهاد برای تحقیقات آینده

مراجع:

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 استفاده می‌شوند. اما 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 باعث ایجاد پدیده جک هیدرولیکی، تراوش بیش از اندازه، فشار حفره‌ای بیش از حد می‌شود. در جهت بررسی پتانسیل ناپایداریهای مذکور معیارهایی توسط متخصصین ارائه شده که اخیراً روشهای عددی نیز به آنها اضافه شده است. بنابراین در جاهایی که پتانسیل خرابی ناشی از فشار داخلی بالاست استفاده از پوشش امری اجتناب ناپذیر است. از این سو استفاده از پوشش فولادی ایمن‌ترین راه حل است. پوشش فولادی مانع از انتقال صددرصد فشار هیدرولیکی داخل تونل به زمین اطراف و نیز مانع از نشت آب که خود آثار مخرب دیگری

دارد، می‌شود. علیرغم ایمنی پوششهای فولادی، استفاده از آن و اجرای آن مستلزم صرف هزینه و زمان قابل توجهی است. و در اغلب موارد توجیه اقتصادی و زمانی پروژه را با سؤالات جدی روبه‌رو می‌سازد. بدین‌دلیل استفاده از پوشش فولادی در اکثر موارد مطلوب نیست. و باید سایر پوششها(صفحه بتنی، صفحه بتنی مسلح و . . .) نیز مورد بررسی قرار گیرند.

از نظر فشار داخلی تا به حال تونلهای تحت فشار با فشار کم (فشار در حدود ۱۰ متر) و تونلهای تحت فشار با فشار خیلی زیاد (فشار در حدود ۱۵۰۰ متر آب) در جهان اجرا شده، و مورد بهره‌برداری قرار گرفته‌اند .

طبق گزارشات آقای*(Jager, 1977)*، تونل تحت فشار مربوط به پروژه کاندرگروند*(Kanderground)* در کشور سویس(۱۹۱۰) از اولین تونلهای تحت فشار است.

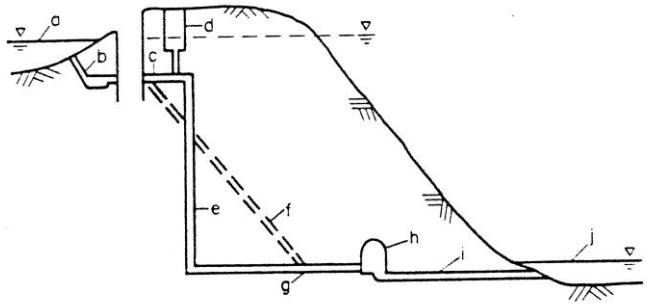
از تونلهای تحت فشار که در کشورمان در حال بهره‌برداری است، می‌توان به تونل تحت فشار سد گلابر اشاره کرد. برای طرح بهینه پوشش تونل‌ها وشفت‌های تحت فشار نفوذپذیر (بتن و بتن مسلح) بهتر است که کلیه عوامل مؤثر در نظر گرفته شود.

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 سیستم تسلیح ترکها را پخش خواهد کرد. و نفوذپذیری این پوششها کاهش خواهد یافت.

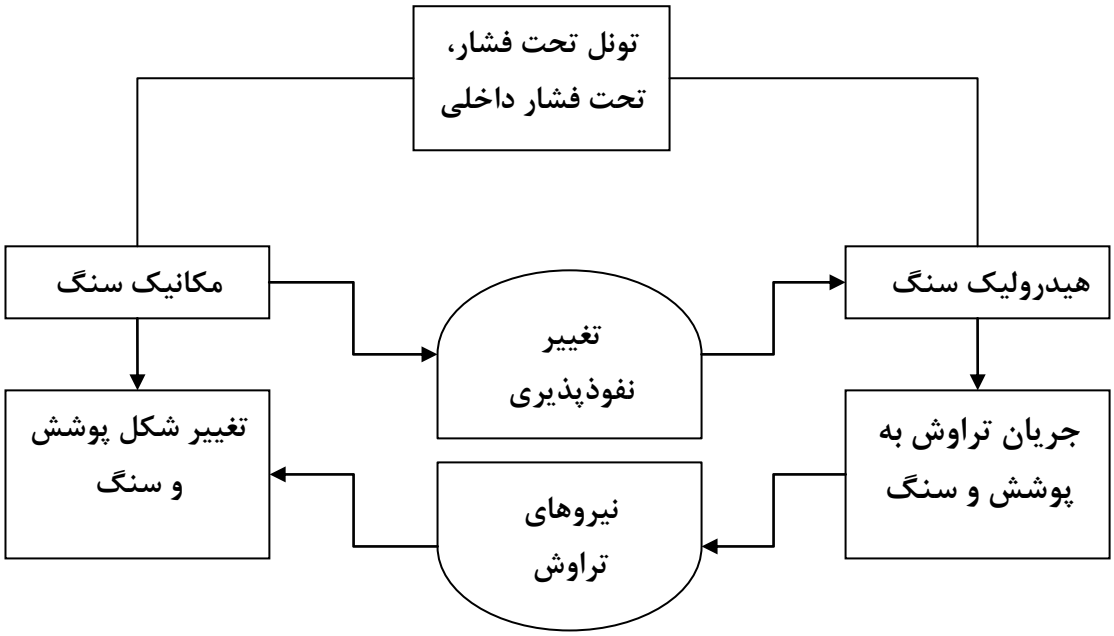
به هرحال، اگر پوشش نسبت به توده سنگ اطراف نفوذپذیر باشد، مقاومت کمی در برابر تراوش خواهد داشت. و فشار داخلی تونل تقریباً به طور کامل به توده سنگ انتقال خواهد یافت.

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 هموژن توده سنگ و با در نظر گرفتن تاریخچه توزیع ترک و پهنای آن کوپل هیدرومکانیکی در پوشش را در نظر گرفت. اشلیس سیر اجرا وکوپل 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. اشلیس و براون و بری در محاسبه تغییر شکل توده سنگ جریان تراوش را متقارب و شعاعی در نظر گرفتند. 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 به دلیل وجود کوپل هیدرومکانیکی در توده سنگ، یعنی تأثیر نیروی حجمی تراوش بر نفوذپذیری توده سنگ، سیر 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 وشفت‌ها، 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 فشارآب 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).

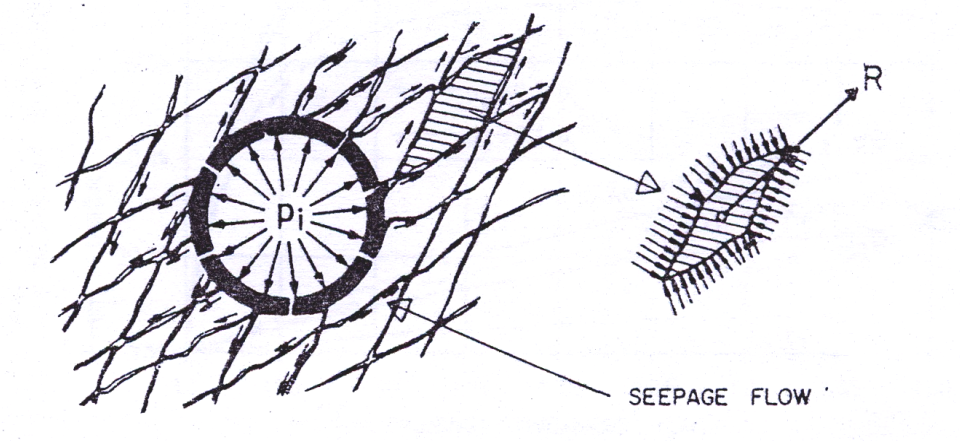
در طراحی تونل‌ها وشفت‌های تحت فشار سه معیار میزان آب نشتی از تونل، ترک در پوشش و ظرفیت باربری تونل یا معیار محصور شدگی(تعیین حداقل عمق مجاز تونل) باید کنترل شود.

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- در 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.



شکل ۱-۳- تونل تحت فشار با پوشش نفوذپذیر در توده سنگ درزدار.

جریان تراوش در درزها و نیروهای وارده به هر المان(Schleiss, 1986).

۱-۳-محدوده و اهداف پژوهش

اهداف این مطالعه در ذیل آمده است:

۱ - بررسی روشهای تحلیلی محاسبه تراوش در تونل‌ها و شفت‌های تحت فشار.

۲ - بررسی کلیه راه‌حل‌های نظری در مورد تونل ها و شفت‌های تحت فشار که اثرات آب و فشار آب حفره‌ای را به نحوی در مدل خود وارد کرده‌اند.

۳ - ارائه یک مدل تحلیلی برای محاسبات تونلها و شفتهای تحت فشار که در آن رفتار واقعی پوشش و توده سنگ مد نظر باشد.

۴ - بدست آوردن روابط تحلیلی مربوط به تراوش و توزیع فشار آب منفذی در پوشش و توده سنگ در برگیرنده تونلها و شفتهای تحت فشار، و به کارگیری آن در مدل تحلیلی ارائه شده.

۵ - محاسبه اندرکنش هیدرولیکی و مکانیکی پوشش و توده سنگ در بر گیرنده تونلها وشفت های تحت فشار، و به کار گیری آن در مدل تحلیلی ارائه شده.

۶ - نوشتن برنامه کامپیوتری با زبان برنامه نویسی *Fortran 90* بر پایه مدل تحلیلی ارائه شده برای تحلیل و طراحی تونلها و شفتهای تحت فشار.

۷ - کنترل مدل ارائه شده با یک نرم افزار عددی، و مقایسه نتایج تحلیل در برنامه مورد نظر با نتایج تحلیل در برنامه عددی 'FLAC-V4' ، برای یک تونل تحت فشار خاص(تونل سد گلابر).

۸ - کنترل نقش پارامترها در تحلیل و طراحی تونل مورد نظر با استفاده از نتایج برنامه و برنامه 'FLAC-V4'.

۹ - بررسی تأثیر فرضیات در نظر گرفته شده در تحلیل تونلها و شفتهای تحت فشار، مورد خاص تونل تحت فشار سد گلابر.

۱-۴-معرفی فصل‌های مختلف پایان نامه

فصل اول مقدمه پایان نامه است. و در آن پایان نامه به صورت کلی معرفی شده است.

در فصل دوم پروژه تونل سد گلابر که مدل تحلیلی ارائه شده با تحلیل و طراحی آن کنترل می‌شود، معرفی شده، و پارامتر های ژئومکانیکی آن بدست آمده است.

در فصل سوم روشهای تحلیلی محاسبه فشار آب حفره‌ای و تراوش در تونلها و شفتهای تحت فشار که توسط محققین مختلف ارائه شده، بررسی شده است. در فصل چهارم روشهای تحلیل نظری تونلهای تحت فشار ارائه و بررسی شده-اند.

در فصل پنجم روابط مربوط به اندرکنش‌های هیدرومکانیکی پوشش- سنگ استخراج شده است. در فصل ششم بر مبنای مدل ارائه شده یک برنامه کامپیوتری به زبان برنامه نویسی فرترن نوشته شده، و الگوریتم برنامه به طور مفصل ارائه شده است.

در فصل هفتم مدل تحلیلی ارائه شده کنترل شده است. به این ترتیب که تونل تحت فشار سد گلابر با استفاده از برنامه کامپیوتری نوشته شده و نرم افزار عددی 'FLAC' تحلیل، و نتایج دو تحلیل مقایسه شده است. سپس پوشش بتن مسلح تونل تحت فشار گلابر با استفاده از برنامه نوشته شده طراحی شده است. فصل هشتم نیز به نتیجه‌گیری تعلق دارد. نتایج تحقیق در این فصل ارائه شده است.

فصل دوم

زمین شناسی و خصوصیات ژئوتکنیکی زمین تونل تحت فشار گلابر