

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



تحلیل پایداری تونل انتقال آب سد سیلوه به روش مدل‌سازی عددی با استفاده از نرم افزار FLAC

امیر شعبانلویی

دانشکده فنی و مهندسی

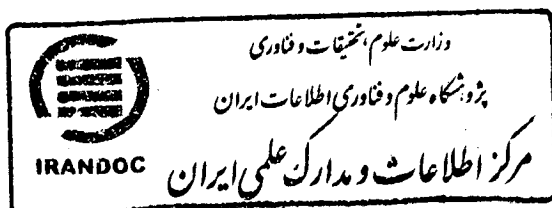
گروه مهندسی معدن

۱۳۸۹

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

استاد راهنما: دکتر حسن مومیوند

استاد مشاور: مهندس سیف الدین موسی زاده



۱۵۷۴۹۸

۱۳۹۰/۳/



پایان نامه خانم/ آقای ابیر سید علی لاری ... به تاریخ ۱۹۱۹۱۳ شماره ۲۶۵-۲۶۶. مورد پذیرش هیات محترم داوران بارتبه عالی و نمره ۱۹۰. قرار گرفت.

۱ - استاد راهنما و رئیس هیئت داوران: دکتر حسن موسوی

۲ - داور خارجی: دکتر میر علی حسینی

۳ - داور داخلی: دکتر حمزه عبدالله شریف

۴ - نماینده تحصیلات تکمیلی: دکتر لاری

پورتري تنظيم اديرم

پوپوك انا

وان اوون

مهرپيان انا

تقدیر و تشکر

حمد و سپاس بیکران خداوند یکتا را که سرچشمه و الهام بخش علم و معرفت است. پژوهش حاضر در پرتو عنایت پروردگار و به لطف و همکاری و راهنمایی های استاد ارجمندم جناب آقای دکتر مومیوند انجام گرفته است. از اینرو لازم می دانم که مراتب امتنان و قدرشناسی خود را از عزیزان و سرورانی که یاور اینجانب در انجام این پژوهش بوده اند را به جای آورده و به دیده احترام از آنان یاد کنم.

از زحمات استاد بزرگووارم جناب آقای دکتر مومیوند به عنوان استاد راهنمای پایان نامه که هم در طول تحصیل دوره کارشناسی ارشد و هم در مدت انجام پروژه حاضر، همواره مرا با راهنمایی های روشنفکرانه خود مورد لطف و محبت خویش قرار داده اند، نهایت تشکر و سپاسگزاری را دارم.

از خانواده عزیزم بخصوص پدر و مادر عزیزم که در طول زندگی همواره یار و مشوق من بوده اند، کمال سپاس و قدر دانی را دارم. از معاونت محترم طرح و توسعه شرکت آب منطقه ای استان آذربایجان غربی، جناب آقای مهندس برشنده، نماینده محترم مجری طرح سد سیلوه، جناب آقای مهندس سربازی و آقایان مهندس رحیمی و مهندس چگینی و کلیه پرسنل کارگاه سد سیلوه که در طول انجام پایان نامه همکاری صمیمانه ای با اینجانب داشتند، کمال تشکر و قدردانی را دارم. امید است نتیجه این پژوهش بتواند راهگشایی مفید در جهت پیشرفت هر چه بیشتر پروژه تونل جلدیان و سایر پروژه های مشابه و همچنین علاقمندان و پژوهشگران صنعت تونلسازی واقع گردد.

در نهایت از اساتید محترم دانشکده فنی دانشگاه ارومیه به ویژه جناب آقای مهندس موسی زاده، مهندسین و همکاران و دوستان عزیزم که با زحمات بی دریغ خود موجبات پیشرفت علمی اینجانب را فراهم آوردند، صمیمانه تشکر می نمایم.

از اعضای محترم هیات داوری به خاطر داوری این پایان نامه و حضور در جلسه دفاعیه تقدیر و تشکر می نمایم.

فهرست مطالب

| | |
|----------|--|
| I..... | فهرست مطالب |
| X..... | فهرست اشکال |
| XIV..... | فهرست جداول |
| ۱..... | فصل اول: مقدمه |
| ۴..... | فصل دوم: مروری بر ادبیات فنی پیشینه موضوع |
| ۴..... | ۱-۲ مقدمه |
| ۷..... | ۲-۲- روشهای تجربی تحلیل پایداری تونل |
| ۷..... | ۲-۲-۱- بررسی پایداری تونل با استفاده از طبقه بندی توده سنگ |
| ۷..... | ۲-۲-۱-۱- روش ترزاقی |
| ۱۱..... | ۲-۲-۲- روش طبقه بندی ژئومکانیکی RMR |
| ۱۱..... | ۲-۲-۳- روش طبقه بندی Q |
| ۱۷..... | ۲-۲-۴- رده بندی براساس ساختار سنگ (RSR) |
| ۱۹..... | ۲-۲-۵- رده بندی لوفر و پاچر (زمان پابرجایی) |
| ۲۰..... | ۲-۳- تعیین زمان پابرجایی دهانه یک تونل |
| ۲۱..... | ۲-۳-۱- زمان پایداری- پایداری سینه کار تونل |
| ۲۶..... | ۲-۳-۲- موارد کاربرد زمان پایداری |
| ۲۶..... | ۲-۳-۲-۱- کاربرد اول |

- ۲۶..... ۲-۳-۲-۲- کاربرد دوم
- ۲۷..... ۴-۲- روشهای طراحی و تعیین سیستم نگهداری
- ۲۷..... ۴-۲-۱- انواع سیستم نگهداری تونل
- ۲۷..... ۴-۲-۱-۱- قابهای فلزی
- ۲۷..... ۴-۲-۱-۲- پیچ سنگ
- ۲۷..... ۴-۲-۱-۲-۱- طبقه بندی پیچ سنگها
- ۲۸..... ۴-۲-۱-۱-۱- پیچ سنگها
- ۲۸..... ۴-۲-۱-۲-۱- داوولها
- ۲۸..... ۴-۲-۱-۲-۳- کابلهای مهاری
- ۲۸..... ۴-۲-۲- بتن پاشیده (شاتکریت)
- ۲۹..... انواع شاتکریت
- ۲۹..... ۱. شاتکریت خشک
- ۳۰..... ۲. شاتکریت تر
- ۳۱..... ۳. شاتکریت تقویت شده با الیاف فولادی
- ۳۲..... ۴. شاتکریت با توری فلزی
- ۳۲..... ۴-۲-۳- لیس، گیردرها
- ۳۴..... ۲-۵- تعیین نوع و کمیت سیستم نگهداری براساس روشهای تجربی
- ۳۴..... ۲-۵-۱- تعیین نوع و کمیت سیستم نگهداری براساس RMR
- ۳۵..... ۲-۵-۲- تعیین نوع و کمیت سیستم نگهداری براساس Q

- ۲-۲-۱- بعدمعدل فضای زیرزمینی ۳۵
- ۲-۲-۲- برآورد جابجایی (تغییرشکل) و نسبت تنشهای افقی به قائم با استفاده از روش Q ۳۶
- ۲-۲-۳- تعیین سیستم نگهداری بر اساس Q ۳۷
- ۲-۳-۳- تعیین سیستم نگهداری بر اساس RMR و Q و روش حفر تونل ۳۸
- ۲-۴-۴- تعیین سیستم نگهداری بر اساس روش ارائه شده توسط هوک ۳۸
- ۲-۴-۱- تونل دایروی ۳۸
- ۲-۴-۲- تونل غیر دایروی ۴۰
- ۲-۶-۲- برآورد فشار وارده بر سیستم نگهداری تونل با استفاده از روش های تجربی ۴۱
- ۲-۶-۱- مقدمه ۴۱
- ۲-۶-۲- روش های تجربی برآورد بار وارد بر سیستم نگهداری تونل ۴۱
- الف) روش ترزاتی ۴۲
- ب) روش گرمستد و بارتن ۴۳
- ج) روش بیناوسکی ۴۴
- د) روش سینگ و همکاران ۴۵
- ه) روش پرتودیاکونوف ۴۵
- و) روش اورلینگ ۴۷
- ز) روش هوک ۴۸
- ز-۱: تونل دایروی ۴۸
- ز-۲: تونل غیر دایروی ۴۸

- ۴۸-۲-۷- تاثیر ویژگیهای ژئوتکنیکی بر انتخاب نوع و کمیت سیستم نگهداری.....
- ۵۰-۲-۸- روشهای تحلیلی ارزیابی پایداری تونل.....
- ۵۰-۲-۸-۱- مقدمه.....
- ۵۱-۲-۸-۲- تقسیم بندی روشهای عددی.....
- ۵۳-۲-۸-۱- روش المان محدود.....
- ۵۴-۲-۸-۲- روش تفاضل محدود.....
- ۵۵-۲-۸-۳- روش المان مرزی.....
- ۵۶-۲-۸-۴- روش المان مجزا.....
- ۵۷-۳-۸-۳- کاربرد صحیح روشهای عددی در سازه‌های سنگی.....
- ۵۹-۲-۹- روشهای مشاهده ای تحلیل پایداری تونل.....
- ۵۹-۲-۹-۱- مقدمه.....
- ۶۰-۲-۹-۲- انواع روشهای مشاهدهای.....
- ۶۰-۲-۹-۱- روش ناتم.....
- ۶۱-۲-۹-۲- تحلیل اندرکنش سنگ-سیستم نگهداری.....
- ۶۱-۲-۹-۱-۲- چرا در عمل منحنی واکنش زمین زیاد استفاده نمی شود؟.....
- ۶۱-۲-۹-۲-۲- روش استفاده از منحنی مشخصه سنگ سیستم نگهداری.....
- ۶۳-۲-۹-۳- برآورد بار وارد بر سیستم نگهداری تونلها با استفاده از روش منحنی مشخصه زمین.....
- ۶۴-۲-۹-۳-۱- تعیین نوع و کمیت سیستم نگهداری تونل با استفاده از منحنی GRC.....
- ۶۴-۲-۹-۳-۱- روش هوک.....

| | |
|----|--|
| ۶۴ | ۲-۹-۴- تغییر شکل یک تونل بدون نگهدارنده |
| ۶۶ | ۲-۹-۵- منحنی مشخصه تغییر شکل سیستم نگهداری |
| ۶۸ | فصل سوم : مشخصات ژئوتکنیکی ساختگاه تونل انتقال آب سد سیلوه (تونل جلدیان) |
| ۶۸ | ۳-۱- مقدمه |
| ۶۹ | ۳-۲- زمین شناسی ساختگاه تونل |
| ۶۹ | ۳-۲-۱- زمین شناسی عمومی منطقه طرح |
| ۷۰ | ۳-۳- زمین شناسی مهندسی |
| ۷۰ | ۳-۳-۱- زمین ریخت شناسی |
| ۷۰ | ۳-۳-۲- چینه شناسی |
| ۷۰ | الف- سنگ آهک سازند روته |
| ۷۱ | ب- کمپلکس دگرگونی |
| ۷۱ | ج- نهشته های پادگانه ای |
| ۷۱ | د- خاکهای برجا و نهشته های واریزه ای |
| ۷۲ | ۳-۴- اطلاعات فنی تونل انتقال آب جلدیان |
| ۷۲ | ۳-۴-۱- محل و موقعیت محدوده پروژه |
| ۷۲ | ۳-۵- اهداف احداث تونل جلدیان |
| ۷۳ | ۳-۶- مشخصات تونل جلدیان |
| ۷۳ | الف- کانال ورودی |
| ۷۳ | ب- قطر تونل |

| | |
|----|---|
| ۷۳ | ج- رقوم ورودی و خروجی تونل |
| ۷۳ | د- شیب و طول تونل انتقال آب |
| ۷۴ | و- مشخصات مسیر تونل انتقال آب |
| ۷۴ | ه- ویژگیهای ژئوتکنیکی محیط دربرگیرنده تونل جلدیان |
| ۷۶ | فصل چهارم: تحلیل پایداری تونل انتقال آب سد سیلوه با روش عددی با استفاده از نرم افزار FLACV5.002D |
| ۷۶ | ۱-۴- مقدمه |
| ۷۷ | ۲-۴- قابلیت های نرم افزار FLAC |
| ۸۰ | ۱-۲-۴- روش تفاضل محدود در نرم افزار FLAC |
| ۸۱ | ۲-۲-۴- مراحل کلی مدلسازی در برنامه FLACV5.002D : |
| ۸۳ | ۱-۲-۴- انتخاب محدوده مناسبی از توده سنگ یا خاک |
| ۸۳ | ۲-۲-۴- انتخاب مدل رفتاری مناسب و تعیین پارامترهای آن |
| ۸۴ | ۳-۲-۴- اعمال شرایط مرزی و تنشهای اولیه |
| ۸۴ | ۴-۲-۴- حل مدل تا رسیدن به تعادل |
| ۸۶ | ۵-۲-۴- ایجاد تغییر در مدل: |
| ۸۶ | ۶-۲-۴- حل مجدد مدل : |
| ۸۶ | ۷-۲-۴- تعیین تعداد درجات آزادی مدل : |
| ۸۷ | ۸-۲-۴- مدل موهر-کولمب |
| ۸۸ | ۳-۴- مراحل بررسی تحلیل پایداری با استفاده از برنامه FLACV5.002D |
| ۸۸ | ۱-۳-۴- داده های ژئوتکنیکی اندازه گیری شده |

| | |
|----------|---|
| ۸۹..... | ۲-۳-۴- آماده سازی داده های اولیه توده سنگ دربرگیرنده تونل به عنوان داده های ورودی برنامه FLAC |
| ۸۹..... | ۱. عمق رویاره (Z) |
| ۸۹..... | ۲. وزن مخصوص رویاره |
| ۸۹..... | ۳. تنش بر جای قائم |
| ۹۰..... | ۴. نسبت تنش افقی به قائم |
| ۹۳..... | ۵. ضریب پواسون |
| ۹۳..... | ۶. ضریب ارتجاعی توده سنگ (E_{mass}) |
| ۹۴..... | ۷. زاویه اصطکاک داخلی توده سنگ (ϕ) |
| ۹۴..... | ۲-۳-۴- داده های ورودی برنامه FLAC |
| ۹۵..... | ۴-۴- مدلسازی تونل |
| ۹۹..... | ۵-۴- تحلیل پایداری تونل |
| ۱۰۰..... | ۴-۵-۱- تنشهای برجا |
| ۱۰۱..... | ۴-۵-۲- حفر تونل |
| ۱۰۳..... | ۴-۵-۳- نصب سیستم نگهداری اولیه تونل |
| ۱۰۹..... | ۴-۵-۳-۱- جابجاییها در اثر حفر تونل |
| ۱۱۵..... | ۴-۵-۳-۲- نیروها و لنگرهای وارد بر سیستم نگهداری پس از ساخت تونل |
| ۱۲۳..... | ۴-۵-۳-۳- ضریب اطمینان سیستم نگهداری |
| ۱۲۶..... | ۴-۵-۳-۴- تحلیل کرنشهای موجود در اطراف تونل و مقایسه آنها با کرنش سکواری: |
| ۱۳۰..... | ۴-۵-۴- تحلیل حساسیت نتایج نیروهای وارد بر سیستم نگهداری تونل |

- ۱۳۱-۴-۵-۱-تاثیر زاویه اصطکاک داخلی محیط دربرگیرنده تونل (Φ) ۱۳۱
- الف-توده سنگ دربرگیرنده شیست-شیل ۱۳۱
- ب-توده سنگ دربرگیرنده دولومیت ۱۳۴
- ۱۳۷-۴-۵-۲-تاثیر مقاومت چسبندگی محیط دربرگیرنده تونل (C) ۱۳۷
- الف-توده سنگ دربرگیرنده شیست-شیل ۱۳۸
- ب-توده سنگ دربرگیرنده دولومیت ۱۴۰
- ۱۴۳-۴-۵-۳-تاثیر مدول الاستیک محیط دربرگیرنده تونل (E) ۱۴۳
- الف-توده سنگ دربرگیرنده شیست شیل ۱۴۴
- ب-توده سنگ دربرگیرنده دولومیت ۱۴۷
- ۱۴۹-۴-۵-۴-تاثیر نسبت تنش افقی به قائم محیط دربرگیرنده تونل (K) ۱۴۹
- الف-توده سنگ دربرگیرنده شیست-شیل ۱۵۰
- ب-توده سنگ دربرگیرنده دولومیت ۱۵۲
- ج-بررسی تاثیر نسبت تنش افقی بامدول الاستیک ثابت بر ضریب اطمینان ۱۵۵
- ج-۱-توده سنگ دربرگیرنده شیست-شیل ۱۵۵
- فصل پنجم: مقایسه پایداری تونل انتقال آب سد سیلوه به روشهای عددی و تجربی ۱۵۷
- ۱-۵-مقدمه: ۱۵۷
- ۲-۵-روشهای تجربی برآورد بار وارد بر سیستم نگهداری تونل ۱۵۸
- ۳-۵-نتایج بدست آمده به روشهای مختلف تجربی و روش عددی ۱۶۰
- فصل ششم: نتیجه گیری و پیشنهادات ۱۶۴

| | |
|----------|---------------------------------|
| ۱۶۸..... | پیوست یک(جداول و نمودارها)..... |
| ۱۸۹..... | ۱-۶-مراجع فارسی..... |
| ۱۹۰..... | ۲-۶-مراجع انگلیسی..... |
| ۱۹۵..... | چکیده انگلیسی..... |

فهرست اشکال

- شکل ۱-۲: مفهوم بارسنگ ترزاقی در تونلها ۸
- شکل ۲-۲: رابطه بین گسلهای منطقه، Q_c ، مدول الاستیک توده سنگ و عمق تونل ۱۵
- شکل ۳-۲: مفهوم جهت حفاری در ارتباط با شیب درزه ها ۱۹
- شکل ۴-۲: رابطه بین زمان خود ایستایی حفاریات بدون نگهداری و مقدار RMR ۲۱
- شکل ۵-۲: انواع مختلف شکست ۲۲
- شکل ۶-۲: مشکلات TBM در سنگ گسل زده با زمان پایداری بسیار کم ۲۴
- شکل ۷-۲: تعاریف تغییر شکلهای و رفتار سینه کار و سقف تونل ۲۵
- شکل ۸-۲: نحوه ترکیب و تولید شاتکریت خشک ۲۹
- شکل ۹-۲: شاتکریت تر ۳۰
- شکل ۱۰-۲: الیاف فولادی و شاتکریت تقویت شده با الیاف فولادی ۳۲
- شکل ۱۱-۲: نحوه اتصال میلگردها در لتیس گیردر ۳۳
- شکل ۱۲-۲: استفاده از لتیس گیردر در تونلهای انحراف و انتقال آب سد سیلوه ۳۴
- شکل ۱۳-۲: نمودار تخمین سیستم نگهداری براساس Q در تونلها و مغاره‌های سنگی ۳۷
- شکل ۱۴-۲: ارتباط کرنش تونل و درجه مشکلات تونلسازی و نسبت σ_{cm}/p_0 ۳۹
- شکل ۱۵-۲: شکل ارائه شده توسط بارتن برای تخمین فشار نگهداری ۴۴
- شکل ۱۶-۲: مفهوم بار سقف تونل ارائه شده توسط اورلینگ ۴۷
- شکل ۱۷-۲: طبقه‌بندی زمین ۵۲
- شکل ۱۸-۲: مثالهایی از توده های سنگی پیوسته و ناپیوسته ۵۳
- شکل ۱۹-۲: طرحهای مختلف مدلسازی توده سنگ ۵۵
- شکل ۲۰-۲: تخمین فشار نگهداری لازم برای مقادیر مختلف کرنش تونل دایروی در شرایط تنش برجای هیدرواستاتیک ۶۳
- شکل ۲۱-۲: الگوی جابجایی در سقف و کف تونل در حال پیشروی ۶۵
- شکل ۱-۴: نمای ویندوزی نرم افزار $FLACV5.002$ ۷۹
- شکل ۲-۴: ترتیب محاسبات در $FLACV5.002D$ ۸۱
- شکل ۳-۴: الگوریتم مراحل کلی مدلسازی در برنامه $FLACV5.002D$ ۸۲
- شکل ۴-۴: نمودار ماکزیم نیروی نامتعادل کننده ۸۵
- شکل ۵-۴: رابطه بین جابجایی عمودی مربوط به نقطه ای در بالای تونل ۸۵

- شکل ۴-۶: تعیین پارامترهای مقاومتی توده سنگ برای توده سنگ دربرگیرنده دولومیت با استفاده از برنامه Roclab ۹۲
- شکل ۴-۷: تعیین پارامترهای مقاومتی توده سنگ برای توده سنگ دربرگیرنده شیست-شیل با استفاده از برنامه Roclab ۹۳
- شکل ۴-۸-الف: موقعیت تونل انتقال آب سد سیلوه ۹۶
- شکل ۴-۸-ب: موقعیت تونل و مش بندی بکار رفته ۹۷
- شکل ۴-۹: مقطع اولیه تونل ۹۷
- شکل ۴-۱۰: مقطع نهایی تونل ۹۸
- شکل ۴-۱۱-الف: نیروی نامتعادل کننده برای توده سنگ دربرگیرنده شیست-شیل ۹۹
- شکل ۴-۱۱-ب: نیروی نامتعادل کننده برای توده سنگ دربرگیرنده دولومیت ۱۰۰
- شکل ۴-۱۲-الف: نیروی نامتعادل کننده برای توده سنگ دربرگیرنده شیست-شیل عادی پس از حفر تونل بدون سیستم نگهداری ۱۰۱
- شکل ۴-۱۲-ب: نیروی نامتعادل کننده برای توده سنگ دربرگیرنده شیست-شیل ریزشی پس از حفر تونل بدون سیستم نگهداری ۱۰۲
- شکل ۴-۱۲-ج: نیروی نامتعادل کننده برای توده سنگ دربرگیرنده دولومیت پس از حفر تونل بدون سیستم نگهداری ۱۰۲
- شکل ۴-۱۳-الف: نیروی نامتعادل کننده برای توده سنگ دربرگیرنده شیست-شیل عادی پس از حفر تونل با اجرای سیستم نگهداری ۱۰۳
- شکل ۴-۱۳-ب: نیروی نامتعادل کننده برای توده سنگ دربرگیرنده شیست-شیل ریزشی پس از حفر تونل با اجرای سیستم نگهداری ۱۰۴
- شکل ۴-۱۳-ج: نیروی نامتعادل کننده برای توده سنگ دربرگیرنده دولومیت پس از حفر تونل با نصب سیستم نگهداری ۱۰۴
- شکل ۴-۱۴-الف: توزیع تنشهای اصلی حداکثر برای توده سنگ دربرگیرنده شیست-شیل عادی ۱۰۶
- شکل ۴-۱۴-ب: توزیع تنشهای اصلی حداکثر برای توده سنگ دربرگیرنده شیست-شیل ریزشی ۱۰۶
- شکل ۴-۱۴-ج: توزیع تنشهای اصلی حداقل برای توده سنگ دربرگیرنده شیست-شیل عادی ۱۰۷
- شکل ۴-۱۴-د: توزیع تنشهای اصلی حداقل برای توده سنگ دربرگیرنده شیست-شیل ریزشی ۱۰۷
- شکل ۴-۱۴-ه: توزیع تنشهای اصلی حداکثر برای توده سنگ دربرگیرنده دولومیت ۱۰۸
- شکل ۴-۱۴-و: توزیع تنشهای اصلی حداقل برای توده سنگ دربرگیرنده دولومیت ۱۰۸
- شکل ۴-۱۵-الف: بردارهای جابجایی در اطراف تونل و نحوه تغییر شکل تونل در توده سنگ دربرگیرنده شیست-شیل عادی ۱۱۰
- شکل ۴-۱۵-ب: بردارهای جابجایی در اطراف تونل و نحوه تغییر شکل تونل در توده سنگ دربرگیرنده شیست-شیل ریزشی ۱۱۱
- شکل ۴-۱۵-ج: بردارهای جابجایی در اطراف تونل و نحوه تغییر شکل تونل در توده سنگ دربرگیرنده دولومیت ۱۱۱
- شکل ۴-۱۶-الف: جابجایی قائم پس از ساخت و نصب سیستم نگهداری تونل برای توده سنگ دربرگیرنده شیست-شیل عادی ۱۱۲
- شکل ۴-۱۶-ب: جابجایی قائم پس از ساخت و نصب سیستم نگهداری تونل برای توده سنگ دربرگیرنده شیست-شیل ریزشی ۱۱۲
- شکل ۴-۱۶-ج: جابجایی قائم پس از ساخت و نصب سیستم نگهداری تونل برای توده سنگ دربرگیرنده دولومیت ۱۱۳
- شکل ۴-۱۷-الف: جابجایی افقی پس از ساخت و نصب سیستم نگهداری تونل برای توده سنگ دربرگیرنده شیست-شیل عادی ۱۱۳
- شکل ۴-۱۷-ب: جابجایی افقی پس از ساخت و نصب سیستم نگهداری تونل برای توده سنگ دربرگیرنده شیست-شیل ریزشی ۱۱۴
- شکل ۴-۱۷-ج: جابجایی افقی پس از ساخت و نصب سیستم نگهداری تونل برای توده سنگ دربرگیرنده دولومیت ۱۱۴

- شکل ۴-۱۸-الف: نیروی محوری وارد بر قاب آهن در توده سنگ دربرگیرنده دولومیت ۱۱۷
- شکل ۴-۱۸-ب: نیروی محوری وارد بر شاتکریت در توده سنگ دربرگیرنده دولومیت ۱۱۷
- شکل ۴-۱۸-ج: نیروی محوری وارد بر لاینینگ در توده سنگ دربرگیرنده دولومیت ۱۱۸
- شکل ۴-۱۸-د: نیروی محوری وارد بر قاب آهن در توده سنگ دربرگیرنده شیست-شیل عادی ۱۱۸
- شکل ۴-۱۸-ه: نیروی محوری وارد بر شاتکریت در توده سنگ دربرگیرنده شیست-شیل عادی ۱۱۹
- شکل ۴-۱۸-و: نیروی محوری وارد بر لاینینگ در توده سنگ دربرگیرنده شیست-شیل عادی ۱۱۹
- شکل ۴-۱۹-الف: لنگر خمشی وارد بر قاب آهن در توده سنگ دربرگیرنده دولومیت ۱۲۰
- شکل ۴-۱۹-ب: لنگر خمشی وارد بر شاتکریت در توده سنگ دربرگیرنده دولومیت ۱۲۱
- شکل ۴-۱۹-ج: لنگر خمشی وارد بر لاینینگ در توده سنگ دربرگیرنده دولومیت ۱۲۱
- شکل ۴-۱۹-د: لنگر خمشی وارد بر قاب آهن در توده سنگ دربرگیرنده شیست شیل عادی ۱۲۲
- شکل ۴-۱۹-ه: لنگر خمشی وارد بر شاتکریت در توده سنگ دربرگیرنده شیست شیل عادی ۱۲۲
- شکل ۴-۱۹-و: لنگر خمشی وارد بر لاینینگ در توده سنگ دربرگیرنده شیست شیل عادی ۱۲۳
- شکل ۴-۲۰: ماکزیمم کرنش برشی در اطراف تونل برای توده سنگ دربرگیرنده دولومیت ۱۲۸
- شکل ۴-۲۱: ماکزیمم کرنش برشی در اطراف تونل برای توده سنگ دربرگیرنده شیست شیل عادی ۱۲۹
- شکل ۴-۲۲: ماکزیمم کرنش برشی در اطراف تونل برای توده سنگ دربرگیرنده شیست شیل ریزشی ۱۳۰
- شکل ۴-۲۳: نیروی محوری وارد بر قاب آهن برای مقادیر مختلف زاویه اصطکاک بر حسب مقاومت چسبندگی برای توده سنگ دربرگیرنده شیست-شیل ۱۳۲
- شکل ۴-۲۴: گشتاور وارد بر قاب آهن برای مقادیر مختلف زاویه اصطکاک بر حسب مقاومت چسبندگی برای توده سنگ دربرگیرنده شیست-شیل ۱۳۳
- شکل ۴-۲۵: نیروی برشی وارد بر قاب آهن برای مقادیر مختلف زاویه اصطکاک بر حسب مقاومت چسبندگی برای توده سنگ دربرگیرنده شیست-شیل ۱۳۴
- شکل ۴-۲۶: رابطه بین نیروی محوری (N) وارد بر قاب آهن زاویه اصطکاک داخلی (φ) برای مقادیر مختلف مقاومت چسبندگی دولومیت ۱۳۵
- شکل ۴-۲۷: گشتاور وارد بر قاب آهن برای مقادیر مختلف زاویه اصطکاک بر حسب مقاومت چسبندگی برای توده سنگ دربرگیرنده دولومیت ۱۳۶
- شکل ۴-۲۸: نیروی برشی وارد بر قاب آهن برای مقادیر مختلف زاویه اصطکاک بر حسب مقاومت چسبندگی برای توده سنگ دربرگیرنده دولومیت ۱۳۷
- شکل ۴-۲۹: نیروی محوری وارد بر قاب آهن برای مقادیر مختلف مقاومت چسبندگی بر حسب مدول الاستیک برای توده سنگ دربرگیرنده شیست-شیل ۱۳۸

- شکل ۴-۳۰- گشتاور وارد بر قاب آهن برای مقادیر مختلف مقاومت چسبندگی بر حسب مدول الاستیک برای توده سنگ دربرگیرنده
شیست-شیل ۱۳۹
- شکل ۴-۳۱- نیروی برشی وارد بر قاب آهن برای مقادیر مختلف مقاومت چسبندگی بر حسب مدول الاستیک برای توده سنگ دربرگیرنده
شیست-شیل ۱۴۰
- شکل ۴-۳۲- نیروی محوری وارد بر قاب آهن برای مقادیر مختلف مقاومت چسبندگی بر حسب مدول الاستیک برای دولومیت ۱۴۱
- شکل ۴-۳۳: گشتاور وارد بر قاب آهن برای مقادیر مختلف مقاومت چسبندگی بر حسب مدول الاستیک برای توده سنگ دربرگیرنده دولومیت
..... ۱۴۲
- شکل ۴-۳۴- نیروی برشی وارد بر قاب آهن برای مقادیر مختلف مقاومت چسبندگی بر حسب مدول الاستیک برای دولومیت ۱۴۳
- شکل ۴-۳۵- نیروی محوری وارد بر قاب آهن برای مقادیر مختلف مدول الاستیک بر حسب زاویه اصطکاک داخلی برای توده سنگ
دربرگیرنده شیست-شیل ۱۴۴
- شکل ۴-۳۶- گشتاور وارد بر قاب آهن برای مقادیر مختلف مدول الاستیک بر حسب زاویه اصطکاک داخلی برای شیست-شیل ۱۴۵
- شکل ۴-۳۷- نیروی برشی وارد بر قاب آهن برای مقادیر مختلف مدول الاستیک بر حسب زاویه اصطکاک داخلی برای توده سنگ
دربرگیرنده شیست-شیل ۱۴۶
- شکل ۴-۳۸- نیروی محوری وارد بر قاب آهن برای مقادیر مختلف مدول الاستیک بر حسب زاویه اصطکاک داخلی برای دولومیت ۱۴۷
- شکل ۴-۳۹- گشتاور وارد بر قاب آهن برای مقادیر مختلف مدول الاستیک بر حسب زاویه اصطکاک داخلی برای دولومیت ۱۴۸
- شکل ۴-۴۰- نیروی برشی وارد بر قاب آهن برای مقادیر مختلف مدول الاستیک بر حسب زاویه اصطکاک داخلی برای دولومیت ۱۴۹
- شکل ۴-۴۱- نیروی محوری وارد بر قاب آهن برای مقادیر مختلف نسبت تنش افقی به قائم بر حسب مدول الاستیک برای شیست-شیل ۱۵۰
- شکل ۴-۴۲- گشتاور وارد بر قاب آهن برای مقادیر مختلف نسبت تنش افقی به قائم بر حسب مدول الاستیک برای توده سنگ دربرگیرنده
شیست-شیل ۱۵۱
- شکل ۴-۴۳- نیروی برشی وارد بر قاب آهن برای مقادیر مختلف نسبت تنش افقی به قائم بر حسب مدول الاستیک برای توده سنگ دربرگیرنده
شیست-شیل ۱۵۲
- شکل ۴-۴۴- نیروی محوری وارد بر قاب آهن برای مقادیر مختلف نسبت تنش افقی به قائم بر حسب مدول الاستیک برای دولومیت ۱۵۳
- شکل ۴-۴۵- گشتاور وارد بر قاب آهن برای مقادیر مختلف نسبت تنش افقی به قائم بر حسب مدول الاستیک برای توده سنگ دربرگیرنده
دولومیت ۱۵۴
- شکل ۴-۴۶- نیروی برشی وارد بر قاب آهن برای مقادیر مختلف نسبت تنش افقی به قائم بر حسب مدول الاستیک برای دولومیت ۱۵۴
- شکل ۴-۴۷- ضریب اطمینان قاب آهن برای مقادیر مختلف نسبت تنش افقی به قائم بر حسب مدول الاستیک برای توده سنگ دربرگیرنده
شیست-شیل ۱۵۵
- شکل ۴-۴۸- ضریب اطمینان قاب آهن برای مقادیر مختلف نسبت تنش افقی به قائم بر حسب مدول الاستیک برای دولومیت ۱۵۶
- شکل ۵-۱: مقطع تونل انتقال آب سد سیلوه پس از حفر ۱۶۰

فهرست جداول

- جدول ۱-۲: وضعیت سیستم نگهداری تونل با توجه به رده بندی ترزاقی..... ۱۰
- جدول ۲-۲: روابط بین کرنش، مشکلات ژئوتکنیکی و نوع نگهداری تونل ۴۹
- جدول ۲-۳: طبقه بندی روشهای عددی..... ۵۲
- جدول ۱-۳: ویژگیهای ژئوتکنیکی محیط دربرگیرنده تونل جلدیان ۷۴
- جدول ۲-۳: مشخصات ناپیوستگی های در برگیرنده تونل ۷۵
- جدول ۱-۴: داده های اولیه حاصل از برداشت ها، اندازه گیری های آزمایشگاهی و برجای مورد نیاز برای تحلیل پایداری تونل ۸۸
- جدول ۲-۴: تنش برجای قائم برای توده سنگ دربرگیرنده های مختلف دربرگیرنده تونل ۹۰
- جدول ۳-۴: روشهای مختلف تخمین مقدار نسبت تنش افقی به قائم (K) در سنگ ۹۱
- جدول ۴-۴: داده های ورودی نرم افزار FLAC، بدست آمده از نرم افزار Roclab برای توده سنگهای دربرگیرنده تونل ۹۵
- جدول ۵-۴: تنشهای برجای قائم و افقی دو محیط قبل از حفر تونل ۱۰۱
- جدول ۶-۴: تنشهای اصلی حداکثر و حداقل در سقف تونل..... ۱۰۵
- جدول ۷-۴: الف: نیروهای محوری، برشی و لنگر خمشی به تفکیک نوع سیستم نگهداری تونل برای توده سنگ دربرگیرنده شیست-شیل عادی..... ۱۱۵
- جدول ۷-۴: ب: نیروهای محوری، برشی و لنگر خمشی به تفکیک نوع سیستم نگهداری تونل برای توده سنگ دربرگیرنده شیست-شیل ریزشی ۱۱۵
- جدول ۷-۴: ج: نیروهای محوری، برشی و لنگر خمشی به تفکیک نوع سیستم نگهداری تونل برای توده سنگ دربرگیرنده دولومیت ۱۱۶
- جدول ۸-۴: الف: تعیین ضریب اطمینان با توجه به نوع سیستم نگهداری برای توده سنگ دربرگیرنده دولومیت ۱۲۴
- جدول ۸-۴: ب: تعیین ضریب اطمینان با توجه به نوع سیستم نگهداری برای توده سنگ دربرگیرنده شیست شیل عادی ۱۲۵
- جدول ۸-۴: ج: تعیین ضریب اطمینان با توجه به نوع سیستم نگهداری برای توده سنگ دربرگیرنده شیست شیل ریزشی ۱۲۵
- جدول ۹-۴: مقادیر کرنش بحرانی سکورایی برای توده سنگ در برگیرنده تونل جلدیان ۱۲۷
- جدول ۵-۱: ضریب بار گذاری (α)، قطر (عرض) تونل (B)، مقاومت فشاری یک محوری (σ_c)، وزن مخصوص (γ) زوایه اصطکاک داخلی (ϕ)، امتیاز توده سنگ (RMR) و کیفیت توده سنگ (Q) ۱۵۹
- جدول ۲-۵: برآورد بار قائم وارد بر سقف تونل جلدیان به روش های مختلف ۱۶۱
- جدول ۳-۵: ابعاد، نیروها، لنگرها، تنشهای ایجاد شده در سیستم نگهداری قاب آهن و ضریب اطمینان تونل جلدیان در هنگام حفر ۱۶۳

فصل اول

مقدمه

تونل‌زنی به علت مشکل حفاری و عدم امکانات، به جز در موارد بسیار محدود فقط در دو قرن اخیر توسعه یافته است. هر چند ایجاد تونل در سنگها به علت سختی نیاز به موارد منفجره و یا ابزار برش بسیار سخت دارد، ولی در سنگهای خیلی نرم و رسوبات سخت نشده، مشکل تونل‌زنی به لحاظ نگهداری تونل است. طراحی و ساخت تونل به فرایندی نیاز دارد که از خیلی جهات با طراحی و اجرای سایر پروژه‌ها متفاوت است، چرا که به جای مصالح معمول مهندسی، توده سنگ خود از مصالح اصلی است. بطوریکه در زمان حفر تونل بایستی حداقل اغتشاش در توده سنگ دربرگیرنده ایجاد شود و تا آنجاییکه امکان دارد از خود توده سنگ به عنوان مصالح نگهداری استفاده شود. پایداری فضاها و تجربه و تحلیل تنشها و تغییر شکلهای ایجاد شده پس از حفر تونل و راههای بهبود وضعیت پایداری آنها دارای اهمیت ویژه‌ای است چون تونل و توده سنگ دربرگیرنده یک سازه نامعین است. بطوری که پس از حفر بارهای وارده به تدریج افزایش می‌یابند و توده سنگ دربرگیرنده نیز معمولاً همگن نمی‌باشد.

یکی از قسمتهای مهم در پروژه‌های سد سازی تونلهای انتقال آب هستند. همانطور که از اسم این تونلها برمی‌آید، آنها برای انتقال آب از مخازن سدها به محل سایر سدها و یا نیروگاههای برقابی و غیره مورد استفاده قرار می‌گیرند. این تونلها ممکن است از درون توده سنگ یا خاک و در داخل زمین با توپوگرافی و میزان رویاره‌های مختلف عبور کنند. از نقطه نظر مهندسی، طراحی و اجرای اینگونه تونلها بنحوی که در طول عمر مفید پروژه بصورتی ایمن مورد استفاده قرار گیرد، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشند. می

تحلیل پایداری تونلهای آبی در سدها موضوعی مهم و ضروری است. بمنظور ارزیابی پایداری تونلها و سازه‌های زیرزمینی روشهای مختلفی وجود دارد که از آن جمله می‌توان به روشهای تجربی، روشهای عددی و روشهای مشاهده‌ای اشاره کرد. به علت طبیعت و ویژگی‌های متفاوت توده‌های سنگ در برگیرنده تونل‌ها در محل‌های مختلف، تحلیل پایداری تونل از یک شرایط نسبت به شرایط دیگر متفاوت است و تحلیل پایداری تونل انتقال آب سد سیلوه خود به عنوان مطالعه موردی جدیدی