

۱۳۷۹ / ۷ / ۱



دانشگاه شهید باهنر کرمان  
دانشکده فنی - بخش مهندسی معدن

پایان نامه جهت دریافت درجه کارشناسی ارشد مهندسی معدن

تحت عنوان

تحلیل پایداری و طراحی نگهداری تونل انتقال آب قشلاق

اساتید راهنما:

دکتر سعید کریمی نسب

مهندس حسین جلالی فر

استاد مشاور:

دکتر کورش شهریار

نگارش:

محمد رضا رحیمی

شهریور ۱۳۷۸

۳۱۲۷۴

به نام خدا

این پایان نامه

به عنوان یکی از شرایط احراز درجه کارشناسی ارشد

به

بخش مهندسی معدن دانشکده فنی دانشگاه شهید باهنر کرمان

تسلیم شده است و هیچگونه مدرکی به عنوان فراغت از تحصیل دوره مزبور شناخته نمی شود.

امضاء

نام و نام خانوادگی

دانشجو: محمد رضا رحیمی سراجی

اساتید راهنما: دکتر سعید کریمی نسب و مهندس جلالی فر (دانشگاه شهید باهنر کرمان - بخش مهندسی معدن)

داور ۱: دکتر محمد حسین باقری پور (دانشگاه شهید باهنر کرمان - بخش مهندسی عمران)

داور ۲: دکتر سید حسن خوشبخت (دانشگاه شهید باهنر کرمان - بخش مهندسی معدن)

داور ۳: دکتر حجت الله رنجبر (دانشگاه شهید باهنر کرمان - بخش مهندسی معدن)



حق چاپ محفوظ و مخصوص مؤلف است.

## تقدیم به پدرم

که صفای روحش غبار ملال را از زندگیم سترد  
و دستان سایه اش ، بهترین پناه و تسلی گاه زندگیمست

## تقدیم به بزرگ آموزگار زندگیم

به مادرم که درس عشق را در دبستان صدقش آموختیم  
و تمامی وجودم و امدار اوست

## تقدیم به برادران و خواهران مهربانم

که همواره حامی و مشوق من بوده اند

## تشکر و قدردانی

### من لم يشكر المخلوق لم يشكر الخالق

بر خود لازم میدانم که از زحمات اساتید محترم آقایان دکتر سعید کریمی نسب و مهندس حسین جلالی فرکه راهنمایی این پروژه را به عهده داشته اند، کمال تشکر و قدردانی را بنمایم.

با نثار برترین درودها از استاد ارجمند جناب آقای دکتر کورش شهر یار، که در طول این دوره از محضر ایشان مستفیض شده و تجربیات و راهنمایی های ارزنده ایشان همواره راهگشای من بوده است، صمیمانه تشکر و قدردانی می نمایم.

از جناب آقای مهندس درگاهی، نماینده کارفرما درمجله پروژه، که زحمات زیادی را متحمل شدند، کمال تشکر را دارم.

همچنین از مرکزین المللی علوم و تکنولوژی پیشرفته و علوم محیطی که بخشی از هزینه های این پروژه را تامین نموده است سپاسگزار می نمایم.

درخاتمه، باسپاس فراوان از کیه کسانی که در این راه به نحوی مرا یاری نموده اند، امیدوارم مطالب ارائه شده در این پایان نامه برای دانشجویان، کارشناسان و اساتید محترم رشته معدن مفید واقع گردد.

محمد رضا رحیمی

شهریور ۱۳۷۸

## چکیده

تونل انتقال آب قشلاق در ۱۲ کیلومتری شمال شرقی شهر سنندج قرار دارد. هدف از احداث تونل، انتقال آب از دریاچه پشت سد قشلاق (وحدت) به میزان ۶ متر مکعب بر ثانیه به منظور تأمین آب شرب دراز مدت شهر سنندج و آب مورد نیاز ۲۷۵۰ هکتار از زمینهای کشاورزی پایین دست می باشد.

در این تحقیق که به منظور تحلیل پایداری تونل انتقال آب قشلاق و ارائه سیستم نگهداری بهینه صورت گرفته، از چهار روش تحلیل تجربی، تئوری، ساختاری و عددی استفاده شده است. با توجه به عواملی مانند ارتفاع روباره، هوازدگی، وجود آب و امتداد تونل، تونل قشلاق به دو بخش A و B تقسیم بندی شد. با استفاده از روش تجربی این نتیجه حاصل شد که تونل در بخش B نیاز به نگهداری موقت دارد. نتایج روش تئوری نشان داد که در بخش B تغییر شکل پلاستیک ایجاد خواهد شد. تحلیل ساختاری نیز با استفاده از نرم افزار UNWEDGE برای بخشهایی از تونل که امکان تشکیل گوه وجود داشته، انجام شد. نتایج تحلیل پایداری به روش عددی با استفاده از نرم افزار PHASES نیز مؤید نتایج حاصل از تحلیلهای تجربی و تئوری بود. طرح نگهداری نهایی، که بوسیله نرم افزار PHASES مدلسازی شد، ۲۰ سانتیمتر پوشش بتنی که ۱۰ سانتیمتر آن توسط الیاف فولادی مسلح شده، پیشنهاد شد. نتایج نرم افزار UNWEDGE نشان داد که برای نگهداری گوهها باید از پیچ سنگ به طول و فاصله ۱/۵ متر استفاده شود.

تحقیق انجام شده در خصوص  
تونل انتقال آب (conveyance)  
به طول ۱۲ کیلومتر  
سنندج  
S. A. and D. J.

## فهرست مطالب

عنوان	صفحه
مقدمه	۱
<b>فصل اول: معرفی منطقه</b>	
۱-۱- مقدمه	۵
۱-۲- موقعیت جغرافیایی طرح و شرایط اقلیمی منطقه	۵
۱-۳- زمین شناسی عمومی	۷
۱-۴- اجزاء طرح	۱۰
۱-۵- مطالعات زمین شناسی مهندسی مسیر تونل	۱۴
۱-۶- مطالعات ناپیوستگی های توده سنگ	۱۵
۱-۶-۱- روش بررسی و مطالعه خصوصیات ناپیوستگی ها	۱۵
۱-۶-۲- داده های ناپیوستگی های توده سنگ و یافته های مطالعاتی	۱۶
۱-۷-۱- توصیف وضعیت ساختاری توده سنگ	۱۶
۱-۷-۱-۱- زونهای ضعیف و خرد شده	۱۶
۱-۷-۲- دسته درزه ۱	۱۷
۱-۷-۳- دسته درزه ۲	۱۷
<b>فصل دوم: آزمایشهای صحرایی و آزمایشگاهی</b>	
۲-۱- مقدمه	۲۰
۲-۲- آزمایشهای آزمایشگاهی و صحرایی	۲۰
۲-۲-۱- وزن مخصوص سنگ	۲۰
۲-۲-۲- مقاومت کششی غیر مستقیم (آزمایش برزلی)	۲۱
۲-۲-۳- مقاومت فشاری تک محوری	۲۱
۲-۲-۴- آزمایش بار نقطه ای	۲۴

۲۴	..... ۲-۲-۵- آزمایش چکش اشمیت
۲۷	..... ۲-۲-۶- آزمایش مقاومت سه محوری
۲۷	..... ۲-۲-۷- آزمایش سرعت موج
۲۸	..... ۲-۳- تحلیل و بررسی نتایج آزمایشها.

### فصل سوم : تحلیل و طراحی براساس روشهای تجربی

۳۳	..... ۳-۱- مقدمه
۳۳	..... ۳-۲- طبقه بندی های مهم مهندسی سنگ
۳۳	..... ۳-۲-۱- طبقه بندی بار سنگ ترزافی
۳۴	..... ۳-۲-۲- طبقه بندی لوفر
۳۵	..... ۳-۲-۳- طبقه بندی بر اساس کیفیت سنگ (RQD)
۳۵	..... ۳-۲-۴- طبقه بندی امتیاز دهی ساختار توده سنگ (RSR)
۳۵	..... ۳-۲-۵- طبقه بندی ژئومکانیکی توده سنگ (RMR)
۳۷	..... ۳-۲-۶- طبقه بندی Q یا NGI
۳۹	..... ۳-۳- استفاده از طبقه بندی ها برای توصیف توده سنگ مسیر تونل :
۳۹	..... ۳-۳-۱- برآورد امتیاز RMR توده سنگ مسیر تونل
۴۲	..... ۳-۳-۲- برآورد مقدار Q مربوط به توده سنگ مسیر تونل
۴۳	..... ۳-۳-۱- استفاده از Q در برآورد میزان نگهداری لازم
۴۴	..... ۳-۳-۲- برآورد حداکثر دهانه بدون نگهداری
۴۴	..... ۳-۳-۳- مقایسه RMR و Q
۴۴	..... ۳-۴- استفاده از طبقه بندیها جهت تعیین ارتفاع بار سنگ و فشار وارد بر نگهداری
۴۶	..... ۳-۵- تعیین مدول تغییر شکل توده سنگ
۴۷	..... ۳-۶- معیار مقاومت تجربی عمومی هوک - براون
۴۷	..... ۳-۶-۱- مروری بر معیار مقاومت تجربی هوک - براون



۵۰ ..... ۳-۶-۲- کاربرد عملی و یافته‌های مطالعاتی

۵۱ ..... ۳-۶-۳- تعیین پارامترهای مقاومتی توده سنگ (C و  $\phi$ )

### فصل چهارم: تحلیل تئوری پایداری تونل

۵۴ ..... ۴-۱- مقدمه

۵۴ ..... ۴-۲- پارامترهای اصلی تحلیل تئوری و عددی

۵۵ ..... ۴-۳- روشهای مختلف تحلیل تئوری

۵۵ ..... ۴-۳-۱- راه حل کرچ

۵۷ ..... ۴-۳-۲- روابط جان بری

۵۹ ..... ۴-۳-۳- تحلیل عکس العمل زمین - نگهداری

۶۳ ..... ۴-۳-۳-۱- بخش A تونل

۶۵ ..... ۴-۳-۳-۲- بخش B تونل

### فصل پنجم: تحلیل ساختاری پایداری تونل

۶۹ ..... ۵-۱- مقدمه

۶۹ ..... ۵-۲- شناسایی گوه‌های ناپایدار

۷۰ ..... ۵-۳- نگهداری گوه‌های ناپایدار

۷۰ ..... ۵-۳-۱- مهار گوه‌ها بوسیله پیچ سنگ

۷۱ ..... ۵-۳-۲- نگهداری گوه‌ها بوسیله شاتکریت

۷۱ ..... ۵-۴- اطلاعات ورودی نرم افزار UNWEDGE

۷۱ ..... ۵-۵- نتایج خروجی نرم افزار UNWEDGE

۷۲ ..... ۵-۶- تحلیل نتایج

### فصل ششم: تحلیل عددی پایداری تونل

۷۶ ..... ۶-۱- مقدمه

۷۶ ..... ۶-۲- تقسیم‌بندی روشهای عددی

۷۶	۱-۲-۶ روش تفاضل محدود (F.D.M)
۷۶	۲-۲-۶ روش اجزاء محدود (F.E.M)
۷۸	۳-۲-۶ روش اجزاء مرزی (B.E.M)
۷۹	۴-۲-۶ روش المان مجزا (D.E.M)
۷۹	۳-۶ مدل سازی با استفاده از نرم افزار PHASES
۸۰	۱-۳-۶ داده های ورودی نرم افزار PHASES
۸۱	۲-۳-۶ خروجی نرم افزار PHASES
۸۱	۳-۳-۶ تحلیل نتایج

#### فصل هفتم: نتیجه گیری و ارائه پیشنهادات

۱۰۰	۱-۷ جمع بندی و نتیجه گیری
۱۰۱	۲-۷ پیشنهادات
۱۰۳	فهرست منابع
۱۰۶	پیوست ۱
۱۲۶	پیوست ۲

## مقدمه

مکانیک سنگ شاخه‌ای از علم ژئوتکنیک است که چگونگی رفتار سنگ در برابر عوامل درونی و بیرونی و تغییرات آنها را مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌دهد. مکانیک سنگ را می‌توان علم نظری و کاربردی رفتار مکانیکی سنگ تعریف کرد. مکانیک سنگ همچنین سروکارش با واکنش سنگها در مقابل میادین نیروی (طبیعی و یا اعمال شده توسط انسان) محیط فیزیکیشان می‌باشد. این شاخه از علم راهنمای مهندسی است که دست اندرکار احداث سازه‌هایی چون تونلها، نیروگاههای زیر زمینی، انبارهای زیر زمینی ذخیره نفت و گاز و ... هستند.

با توجه به گسترش روز افزون جمعیت و مشکلات ناشی از آن مساله کمبود آب در این اواخر نمود بیشتری پیدا کرده است و در آینده از مشکلات اساسی جامعه جهانی خواهد بود. کشور ما نیز از این مساله مستثنی نبوده، از این رو فعالیتهای گسترده‌ای به منظور جمع‌آوری و مهار آبهای سرگردان بوسیله احداث سدها در حال انجام است. احداث سد و تونل قشلاق و شبکه توزیع آن یکی از این فعالیتهای است.

هدف از احداث سد و تونل انتقال آب قشلاق تامین آب شرب دراز مدت شهر سنندج و همچنین تامین آب مورد نیاز اراضی کشاورزی منطقه می‌باشد.

یکی از اجزای لاینفک طرح سدها تونلها هستند که انواع مختلفی مانند: تونل انحراف، تونل انتقال، تونل انتقال تحت فشار آب و ... را شامل می‌شود. برای طراحی این تونلها آشنائی به علم مکانیک سنگ ضروری می‌باشد.

موضوع این پروژه بررسی و طراحی نگهداری تونل انتقال آب قشلاق می‌باشد. در این پروژه مسائل مربوط به پایداری تونل توسط روشهای مختلف ارزیابی می‌شود و در نهایت مقایسه‌ای بین روشهای مختلف انجام خواهد شد و شامل ۷ فصل به شرح زیر می‌باشد:

در فصل اول منطقه مورد مطالعه از لحاظ موقعیت جغرافیایی، وضعیت زمین شناسی و سایر موارد معرفی شده است.

در فصل دوم نتایج مطالعات و برداشتهای صحرائی و آزمایشات آزمایشگاهی درج شده است.

در فصل سوم به تشریح روشهای تجربی مختلف، تحلیل پایداری و طراحی نگهداری تونل بر

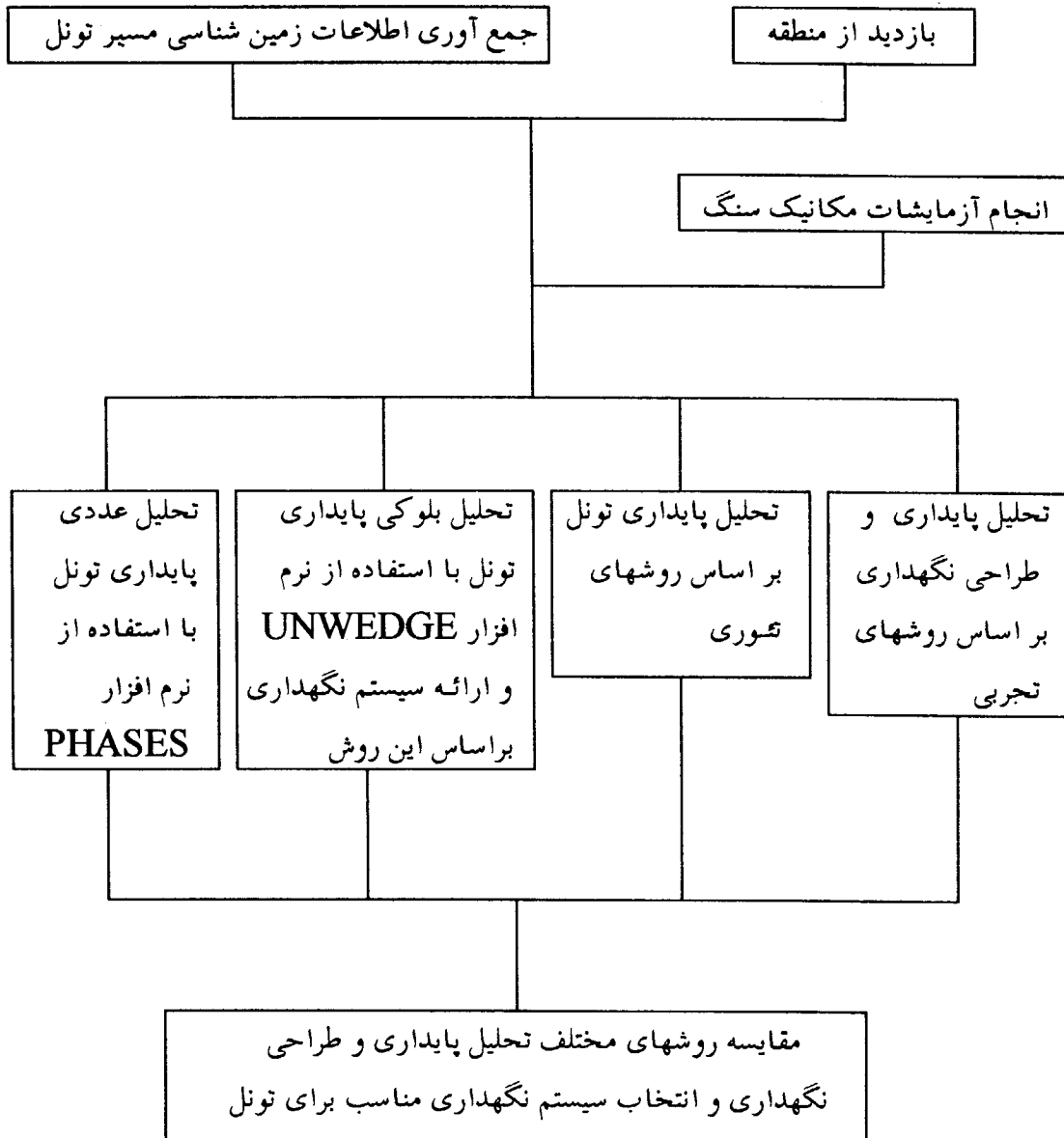
اساس این روشها پرداخته شده است.

در فصل چهارم پایداری تونل براساس روشهای مختلف تئوری مانند: روش جان - بری و تحلیل عکس العمل زمین - نگهداری بررسی شده است.

در فصل پنجم با توجه به وضعیت درزه‌ها براساس تحلیل ساختاری، پایداری تونل بررسی شد. با استفاده از نرم افزار UNWEDGE گوه‌های تشکیل شده در اثر تقاطع ساختارهای زمین شناسی شناسایی شده و با توجه به مشخصات این گوه‌ها سیستم نگهداری مناسب به منظور پایدار سازی آنها ارائه شد.

فصل ششم اختصاص به تحلیل عددی پایداری تونل با استفاده از نرم افزار PHASES دارد. با استفاده از نتایج خروجی نرم افزار، پایداری تونل بررسی و سیستم نگهداری مناسب ارائه شد. در این نرم افزار کارایی سیستم نگهداری نهایی نیز با مدلسازی فشار داخلی آب بررسی شد. در فصل هفتم به مقایسه روشهای مختلف تحلیل پایداری، انتخاب طرح بهینه نگهداری و ارائه پیشنهاداتی در این باره پرداخته شده است.

روند انجام پایان نامه در نمودار صفحه بعد نشان داده شده است.



# فصل اول

معرفی منطقہ

## ۱-۱- مقدمه

پروژه ساخت سد قشلاق قبل از پیروزی انقلاب به اتمام رسید. مطالعات اولیه شبکه انتقال آب آن نیز همزمان با طرح احداث سد انجام شده بود. اما بعد از پیروزی انقلاب و به دلیل مشکلات منطقه کردستان و جنگ تحمیلی، کار متوقف شد. بعد از اتمام جنگ شرکت آب منطقه‌ای غرب کار مطالعه شبکه انتقال و توزیع آب از این سد را در دستور کار قرار داد که پس از تکمیل مطالعات، گزینه انتقال ثقلی آب بوسیله تونل و کانال تأیید شد. در این فصل ابتدا موقعیت جغرافیایی و شرایط آب و هوایی منطقه توضیح داده خواهد شد. در ادامه با توجه به اهمیت مطالعات زمین‌شناسی و ژئوتکنیکی در طراحی و اجرای اینگونه تونلها مطالعات انجام شده توسط شرکت مشاور و نگارنده تشریح می‌شود.

## ۱-۲- موقعیت جغرافیایی طرح و شرایط اقلیمی منطقه

منطقه مورد مطالعه در استان کردستان و در ۱۲ کیلومتری شمال شرقی شهر سنندج در عرض جغرافیایی  $35^{\circ} 05'$  تا  $35^{\circ} 30'$  و طول جغرافیایی  $46^{\circ} 05'$  تا  $47^{\circ}$  قرار دارد که در شکل ۱-۱ (نقشه چهار گوش سنندج) و بصورت شماتیک در شکل ۱-۲ نشان داده شده است. این منطقه در دامنه‌های شمال غرب سلسله جبال زاگرس از شمال‌شرقی به جنوب غربی کشیده شده است و ارتفاعات آن در منطقه و حوزه سد قشلاق بین ۱۴۰۰ و ۲۹۰۰ متر می‌باشد [۱].

این منطقه از شمال به جنوب در میان دو رشته کوه واقع شده است:

الف - یکی از رشته کوهها تقریباً از ۱۰ کیلومتری غرب سنندج گذشته و به تدریج به رودخانه زاوه در جنوب کردستان منتهی می‌شود که مهمترین ارتفاع این رشته کوه آبدر با ارتفاع ۲۵۳۸ متر است [۱].

ب- رشته کوه دوم که از شرق سنندج و رودخانه قشلاق گذشته و به کوه الوند متصل می‌گردد. این دو رشته کوه در برخورد با یکدیگر دره‌ای تقریباً طویل را بوجود آورده‌اند. سد قشلاق در شمال این دره و روستای چنو در جنوب آن قرار دارد. طول دره حدود ۳۰ کیلومتر و عرض آن بین ۵ الی ۱۵ کیلومتر است. رودخانه قشلاق که در کف دره جریان دارد از ارتفاعات شمالی استان