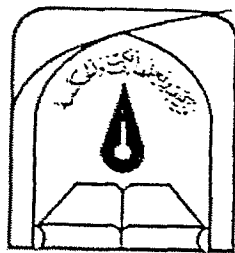


بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

۱۳۸۲ / ۵ / ۳۰

انجمن تخصصی  
مهندسی عمران  
ایران

بسمه تعالی



دانشگاه تربیت مدرس

دانشکده فنی-مهندسی

پایان نامه دوره کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک سنگ

تخمین تنشهای ثانویه با استفاده از جک مسطح و تحلیل پایداری  
تونل آب بر سد سیمره

ابوالفضل موسوی

استاد راهنما:

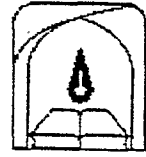
دکتر عبدالهادی قزوینیان

استاد مشاور:

دکتر مرتضی احمدی

زمستان ۱۳۸۱

۴۷۸۸۱



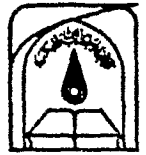
دانشگاه تربیت مدرس

## تاییدیه هیات داوران

آقای ابوالفضل موسوی پایان نامه ۶۰ واحدی خود را با عنوان: تخمین تنشهای ثانویه با استفاده از لزجک مسطح و تحلیل پایداری تونل آب بر سد سیمره در تاریخ ۸۱/۱۲/۱۷ ارائه کردند. اعضای هیات داوران نسخه نهایی این پایان نامه را از نظر فرم و محتوی تایید و پذیرش آنرا برای تکمیل درجه کارشناسی ارشد رشته مهندسی معدن با گرایش مکانیک سنگ پیشنهاد می کنند.

امضاء	نام و نام خانوادگی	اعضای هیأت داوران
	آقای دکتر قزوینیان	۱- استاد راهنما:
	آقای دکتر احمدی	۲- استاد مشاور:
	آقای دکتر گشتاسبی	۳- استادان ممتحن:
	آقای دکتر غروی	
	آقای دکتر خدادادی	۴- مدیر گروه:
		(یا نماینده گروه تخصصی)

این نسخه به عنوان نسخه نهایی پایان نامه / رساله مورد تایید است.  
اعضای استاد راهنما:



بسمه تعالی

## آیین نامه چاپ پایان نامه (رساله) های دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس

نظر به اینکه چاپ و انتشار پایان نامه (رساله) های تحصیلی دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس، مبین بخشی از فعالیت های علمی - پژوهشی دانشگاه است بنابراین به منظور آگاهی و رعایت حقوق دانشگاه، دانش آموختگان این دانشگاه نسبت به رعایت موارد ذیل متعهد می شوند:

ماده ۱ در صورت اقدام به چاپ پایان نامه (رساله) ی خود، مراتب را قبلاً به طور کتبی به «دفتر نشر آثار علمی» دانشگاه اطلاع دهد.

ماده ۲ در صفحه سوم کتاب (پس از برگ شناسنامه)، عبارت ذیل را چاپ کند:  
و کتاب حاضر، حاصل پایان نامه کارشناسی ارشد / رساله دکتری نگارنده در رشته \_\_\_\_\_ است  
که در سال \_\_\_\_\_ در دانشکده \_\_\_\_\_ دانشگاه تربیت مدرس به راهنمایی سرکار خانم / جناب آقای دکتر هژدینیا، مشاوره سرکار خانم / جناب آقای دکتر احمدی و مشاوره سرکار خانم / جناب آقای دکتر \_\_\_\_\_ از آن دفاع شده است.

ماده ۳ به منظور جبران بخشی از هزینه های انتشارات دانشگاه، تعداد یک درصد شمارگان کتاب (در هر نوبت چاپ) را به «دفتر نشر آثار علمی» دانشگاه اهدا کند. دانشگاه می تواند مازاد نیاز خود را به نفع مرکز نشر در معرض فروش قرار دهد.

ماده ۴ در صورت عدم رعایت ماده ۳، ۵۰٪ بهای شمارگان چاپ شده را به عنوان خسارت به دانشگاه تربیت مدرس، تأدیه کند.

ماده ۵ دانشجوی تعهد و قبول می کند در صورت خودداری از پرداخت بهای خسارت، دانشگاه می تواند خسارت مذکور را از طریق مراجع قضایی مطالبه و وصول کند؛ به علاوه به دانشگاه حق می دهد به منظور استیفای حقوق خود، از طریق دادگاه، معادل وجه مذکور در ماده ۴ را از محل توقیف کتابهای عرضه شده نگارنده برای فروش، تأمین نماید.

ماده ۶ اینجانب ابوالفضل موسوی دانشجوی رشته \_\_\_\_\_ مقطع کارشناسی \_\_\_\_\_ تعهد فوق و ضمانت اجرایی آن را قبول کرده، به آن ملتزم می شوم.

نام و نام خانوادگی: ابوالفضل موسوی  
تاریخ و امضا: ۱۳۸۱/۱۱/۲۵

تقدیم بہ

پدر و لسوز و مادر مہربانم

## تشکر و قدردانی

به این وسیله از اساتید محترم، آقایان دکتر عبدالهادی قزوینیان، دکتر مرتضی احمدی و دکتر کامران گشتاسبی که از راهنمایی‌های ایشان در طول این مدت بهره برده‌ام، تشکر و قدردانی می‌نمایم.

در اینجا لازم است مراتب تشکر و قدردانی خود را از افراد زیر به خاطر راهنمایی‌ها و زحماتشان اعلام نمایم:

آقایان مهندس رهبری، مهندس منصورپور، مهندس عظیمی، مهندس جعفری، مهندس تبارمهدی و مهندس فرشیدفر از شرکت آب و نیرو.

آقایان مهندس کاظمی و مهندس ولی‌نژاد از دوستان دوران کارشناسی ارشد و آقای مهندس شیخانی مسئول آزمایشگاه مکانیک سنگ دانشگاه.

## چکیده

تحلیل پایداری فضا‌های زیرزمینی از مهمترین مسائل مربوط به حفر سازه‌های زیرزمینی می‌باشد. برای این منظور بایستی اطلاعات دقیقی را از میزان تنش‌های برجا و اولیه منطقه بدست آورد. از میان روش‌های مختلفی که برای تعیین تنش وجود دارد، روش جک مسطح انتخاب گردید. این تحقیق برای تونل آب‌بر سد سیمره سیمره انجام می‌شود، که در ۴۰ کیلومتری شمال غربی شهرستان دره شهر، در استان ایلام و در ناحیه زاگرس چین‌خورده در حال ساخت می‌باشد. تونل آب‌بر این سد نیز در جناح چپ رودخانه و در سنگ‌های آهکی سازند آسماری (شهباران) میانی حفر می‌گردد. این تونل که با قطر ۱۲/۵ متر حفاری در حال حفاری است، در انتهای مسیر خود به سه پلستاک منتهی می‌شود. با انجام آزمایش جک مسطح می‌توان تنش‌های القایی و همچنین مدول تغییر شکل توده سنگ را مستقیماً بدست آورد و سپس با انجام تحلیل آنالیز معکوس توسط یک روش عددی، تنش اولیه موجود در محل انجام آزمایش جک مسطح بدست می‌آید. چون قبلاً این آزمایش توسط شرکتها و یا محققین داخلی انجام نگرفته، بنابراین انجام این آزمایش برای اولین بار کار مشکلی می‌باشد. در این تحقیق برای اجرای تحلیل آنالیز معکوس از نرم‌افزار UDEC استفاده شد و همچنین برای بررسی صحت نتایج بدست آمده، از نرم‌افزار ANSYS استفاده گردید. تحلیل پایداری تونل مورد نظر نیز توسط روش‌های تجربی RMR و Q، روش تحلیل گوه‌ای و روش عددی انجام شده است. که در روش تحلیل گوه‌ای از نرم‌افزار UNWEDGE و در تحلیل عددی از نرم‌افزار UDEC استفاده می‌گیرد. پس از اجرای هر یک از این روش‌ها، نگهداری مورد نیاز نیز ارائه می‌شود.

## کلمات کلیدی.

جک مسطح-تنش اولیه-تنش برجا-مدول تغییر شکل-آنالیز معکوس-نرم افزار UDEC-

تحلیل پایداری-سد سیمره.

## فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۱	فصل اول: مقدمه‌ای بر تحقیق.....
۲	۱-۱) معرفی تحقیق مورد بررسی.....
۳	۲-۱) اهمیت تحقیق و اهداف آن.....
۳	۳-۱) مروری بر فصلهای بعدی.....
۵	فصل دوم: مروری بر تعیین تنش با استفاده از روش جک مسطح.....
۶	۲-۱) مقدمه.....
۶	۲-۲) تکنیک‌ها و روشهای مختلف تعیین تنشهای برجا.....
۱۰	۳-۲) تخمین تنشهای برجا.....
۱۰	۱-۳-۲) تغییرات تنش برجا با عمق.....
۱۲	۴-۲) عوامل مؤثر بر تنشهای برجا.....
۱۲	۱-۴-۲) آنیزوتروپی.....
۱۲	۲-۴-۲) لایه‌بندی.....
۱۳	۳-۴-۲) ساخت زمین‌شناسی.....
۱۴	۴-۴-۲) توپوگرافی.....
۱۵	۵-۴-۲) فرسایش.....
۱۵	۵-۲) دقت و عدم قطعیت در اندازه‌گیری تنشهای برجا.....
۱۶	۶-۲) روش جک مسطح.....
۱۷	۱-۶-۲) تاریخچه.....
۲۰	۲-۶-۲) انواع مختلف جک مسطح.....



۲۰	.....(SFJ) جک مسطح کوچک
۲۲	.....(FJ) جک مسطح
۲۲	.....(LFJ) جک مسطح بزرگ
۲۴	.....(ELFL) جک مسطح خیلی بزرگ
۲۶	..... روش اجرای تست جک مسطح
۳۰	.....(۴-۶-۲) تئوری و محاسبات
۳۵	..... فصل سوم: مروری بر روشهای تحلیل پایداری حفريات زیرزمینی
۳۶	.....(۱-۳) مقدمه
۳۷	.....(۲-۳) روشهای تجربی
۳۷	.....(۱-۲-۳) روش طبقه بندی ژئومکانیکی RMR
۴۰	.....(۲-۲-۳) روش طبقه بندی Q
۴۲	.....(۳-۳) روشهای عددی
۴۳	.....(۱-۳-۳) اصول مدلسازی عددی
۴۴	.....(۲-۳-۳) روش اجزای محدود
۴۴	.....(۳-۳-۳) روش اجزای مرزی
۴۵	.....(۴-۳-۳) روش تفاضل محدود
۴۶	.....(۵-۳-۳) روش اجزای مجزا
۴۸	..... فصل چهارم: تعیین پارامترهای ژئومکانیکی منطقه
۴۹	.....(۱-۴) مقدمه
۴۹	.....(۲-۴) مطالعات زمین شناسی
۵۱	.....(۱-۲-۴) چینه شناسی
۵۳	.....(۲-۲-۴) زمین ساخت
۵۴	.....(۳-۲-۴) تکنوتیک و لرزه خیزی منطقه
۵۵	.....(۳-۴) مطالعات صحرایی

۵۵	۴-۳-۱) برداشت مشخصات سطحی و عمقی
۵۵	۴-۳-۲) تعیین پارامترهای مقاومت برشی ناپیوستگی‌ها
۵۸	۴-۳-۳) تعیین شاخص کیفی سنگ RQD
۵۹	۴-۴) مطالعات آزمایشگاهی
۶۰	۴-۴-۱) آزمایش تعیین وزن مخصوص مصالح سنگی
۶۰	۴-۴-۲) آزمایش تراکمی تک محوری
۶۲	فصل پنجم: تعیین تنشهای اولیه و برجای منطقه
۶۳	۵-۲) مشخصات جک مسطح
۶۶	۵-۳) نحوه اجرای آزمایش جک مسطح
۶۷	۵-۳-۱) انتخاب محل اجرای آزمایش
۶۷	۵-۳-۲) آماده‌سازی سطح
۶۷	۵-۳-۳) نصب پین‌های اندازه‌گیری
۶۸	۵-۳-۴) اندازه‌گیری فاصله اولیه بین پینها
۷۰	۵-۳-۵) حفر شکاف جک مسطح و اندازه‌گیری تغییرات فاصله بین پینها
۷۱	۵-۳-۶) ثابت نمودن جک مسطح
۷۵	۵-۳-۷) بارگذاری جک مسطح و انجام آزمایش
۷۹	۵-۴) محاسبات
۸۵	فصل ششم: تحلیل پایداری و طراحی نگهداری تونل آب‌بر سد سیمره
۸۶	۶-۱) مقدمه
۸۶	۶-۲) ارزیابی پایداری با روشهای تجربی
۸۷	۶-۲-۱) روش RMR
۹۰	۶-۲-۲) روش Q
۹۴	۶-۳) ارزیابی و تحلیل پایداری با استفاده از روش تعادل حدی
۹۴	۶-۳-۱) آنالیز گوه‌های تشکیل شده در اثر حفر تونل آب‌بر و پستاک‌ها

۹۸	..... (۴-۶) ارزیابی پایداری با روش عددی
۹۹	..... (۱-۴-۶) مدل‌سازی حفریات زیرزمینی با نرم افزار UDEC
۱۰۰	..... (۲-۴-۶) مدل‌سازی حالت اول (بخش خشک تونل در محل اجرای تست)
۱۰۹	..... (۳-۴-۶) مدل‌سازی حالت دوم (بخش تونل به قطر ۱۲/۵ متر با بیشترین روباره)
۱۱۱	..... (۴-۴-۶) مدل‌سازی حالت سوم (بخش اشباع پنستاکهای دایره‌ای به قطر ۷/۲ متر)
۱۱۷	..... (۵-۴-۶) مدل‌سازی حالت چهارم (پنستاکهای نعل اسبی شکل با شعاع ۳/۵ متر)
۱۲۰	..... فصل هفتم: نتیجه‌گیری و پیشنهادات
۱۲۱	..... (۱-۷) نتایج حاصل از تحقیق
۱۲۲	..... (۲-۷) پیشنهادات
۱۲۳	..... منابع
۱۲۶	..... پیوست

## فهرست جداول

صفحه	عنوان
۸.....	جدول (۱-۲) روشهای اندازه‌گیری تنشهای برجا و تخمین حجم سنگی که هر روش در بر می‌گیرد.....
۳۱.....	جدول (۲-۲) نسبت تنش پوسته به فشار جبرانی برای جک مسطح با ابعاد $1m^2$ .....
۳۸.....	جدول (۱-۳) طبقه بندی توده سنگ بر اساس روش RMR به همراه مفهوم عملی طبقه های مختلف.....
۵۴.....	جدول (۱-۴) مشخصات گسلها معروف موجود در منطقه کبیر کوه.....
۵۶.....	جدول (۲-۴) مشخصات ناپیوستگی‌های مسیر تونل آب بر نیروگاه سیمره براساس لرزه‌نگاری سطحی.....
۵۶.....	جدول (۳-۴) مشخصات ناپیوستگی‌های قسمت ورودی تونل آب بر سد سیمره براساس درزه‌برداری عمقی.....
۵۷.....	جدول (۴-۴) مشخصات ناپیوستگی‌های قسمت خروجی تونل آب بر سد سیمره براساس درزه‌برداری عمقی.....
۵۷.....	جدول (۵-۴) پارامترهای مقاومت برشی سطوح ناپیوستگی سد سیمره.....
۶۰.....	جدول (۶-۴) وزن مخصوص خشک و اشباع مصالح سنگی منطقه.....
۶۱.....	جدول (۷-۴) خواص مکانیکی سنگ آهک آسماری حاصل از آزمایش تراکمی تک محوری.....
۶۹.....	جدول (۱-۵) نتایج قرائت کالیبراسیون و اندازه‌گیری فاصله اولیه بین زوج پینهای مختلف.....
۷۳.....	جدول (۲-۵) نتایج حاصل از شکست نمونه‌های مکعبی $10 \times 10 \text{ cm}$ .....
۷۶.....	جدول (۳-۵) نتایج اولیه حاصل از کالیبراسیون گیج فشار مربوط به آزمایش جک مسطح.....

جدول (۵-۴) نتایج نهایی کالیبراسیون گیج فشار مربوط به پمپ هیدرولیک آزمایش جک مسطح.....	۷۷
جدول (۶-۱) امتیاز RMR مربوط به تونل به همراه جزئیات مربوط به آن.....	۸۹
جدول (۶-۲) توصیف رده‌های بدست آمده برای توده سنگ و مفهوم آنها.....	۸۹
جدول (۶-۳) مقادیر محاسبه شده Q و عوامل موثر در محاسبه آن.....	۹۲
جدول (۶-۴) رده نگهداری موقت و دائمی حفريات تونل بر اساس روش Q.....	۹۲
جدول (۶-۵) طراحی نگهداری موقت و دائم تونل مورد نظر بر اساس روش Q.....	۹۳
جدول (۶-۶) اطلاعات ورودی مربوط به نرم‌افزار UNWEDGE برای ناپایداری‌های ساختاری.....	۹۵
جدول (۶-۷) خواص بلوکها و ناپیوستگی‌های بکار رفته در مدل.....	۱۰۱
جدول (۶-۸) پارامترهای مورد نیاز برای محاسبه سختی نرمال و برشی.....	۱۰۲
جدول (پ-۱) نتایج حاصل از اندازه‌گیری فاصله بین پین‌های جک مسطح در آزمایش حالت افقی.....	۱۲۷
جدول (پ-۲) قرائت‌های انجام شده طی عملیات بارگذاری جک مسطح در آزمایش حالت افقی.....	۱۲۹
جدول (پ-۳) نتایج حاصل از اندازه‌گیری فاصله بین پین‌های جک مسطح در آزمایش حالت افقی.....	۱۳۲

صفحه	عنوان
۷۲	نمودار (۱-۵) تغییرات فاصله بین پین $C_1$ در اثر حفر شکاف.
۷۸	نمودار (۲-۵) فشار-جابجایی مربوط به زوج پین $C_1$ .
۷۸	نمودار (۳-۵) تغییرات فاصله بین پین $A_1$ در اثر حفر شکاف به صورت قائم.
۱۲۸	نمودار (پ-۱) تغییرات فاصله بین پین $C_2$ در اثر حفر شکاف افقی.
۱۲۸	نمودار (پ-۲) تغییرات فاصله بین پین $C_3$ در اثر حفر شکاف افقی.
۱۳۰	نمودار (پ-۳) فشار جابجایی مربوط به زوج پین $C_2$ در آزمایش حالت افقی.
۱۳۱	نمودار (پ-۴) فشار جابجایی مربوط به زوج پین $C_3$ در آزمایش حالت افقی.
۱۳۳	نمودار (پ-۵) تغییرات فاصله بین پین $A_2$ در اثر حفر شکاف به صورت قائم.
۱۳۳	نمودار (پ-۶) تغییرات فاصله بین پین $A_3$ در اثر حفر شکاف به صورت قائم.

## فهرست اشکال

عنوان	صفحه
شکل (۱-۱) مقطع حفاری پنستاکها در قسمت انتهایی.....	۲
شکل (۱-۲) تغییرات تنش قائم با عمق.....	۱۰
شکل (۲-۲) رابطه بین عمق و ضریب $K$ .....	۱۱
شکل (۳-۲) تاثیر لایه بندی بر تنش برجا.....	۱۲
شکل (۴-۲) اثر تغییرات مدول یانگ دربار وارده.....	۱۳
شکل (۵-۲) تاثیر چین خوردگی لایه های باصلبیت متفاوت بر تنش قائم.....	۱۴
شکل (۶-۲) اثر توپوگرافی بر تنش برجا.....	۱۴
شکل (۷-۲) تغییرات مدول یانگ در یک چال ۵ متری.....	۱۶
شکل (۸-۲) نحوه نصب جک مسطح طبق توصیه مریل و همکاران.....	۱۸
شکل (۹-۲) مسیری که سنگ طی آزمایش جک مسطح طی می کند.....	۱۹
شکل (۱۰-۲) مثالی از اندازه گیری های برجا توسط جک مسطح.....	۲۰
شکل (۱۱-۲) ابعاد و شکل شکاف مربوط به روش جک مسطح کوچک.....	۲۱
شکل (۱۲-۲) (a) شکل اره دیسکی مورد استفاده جک ایجاد شکاف (b) شکل سه نوع مختلف جک مسطح کوچک.....	۲۱
شکل (۱۳-۲) شکل جک مسطح بزرگ و ابعاد مربوط به آن.....	۲۳
شکل (۱۴-۲) در سمت راست ابعاد جک مسطح خیلی بزرگ دیده می شود (ابعاد به میلیمتر).....	۲۵
شکل (۱۵-۲) مشخصات جک مسطح خیلی بزرگ که به صورت دوتایی مورد استفاده قرار می گیرد.....	۲۵
شکل (۱۶-۲) محدوده مورد نیاز برای آماده سازی جهت انجام آزمایش جک مسطح.....	۲۶