



دانشگاه تربیت مدرس
دانشکده فنی و مهندسی

پایان نامه دوره کارشناسی ارشد مهندسی عمران - خاک و پی

تخمین پارامترهای رفتاری توده سنگ درزه دار مغار نیروگاه سیاه‌بیشه براساس

نتایج ابزار دقیق

کیوان کامرانی

استاد راهنما:

دکتر محمود یزدانی

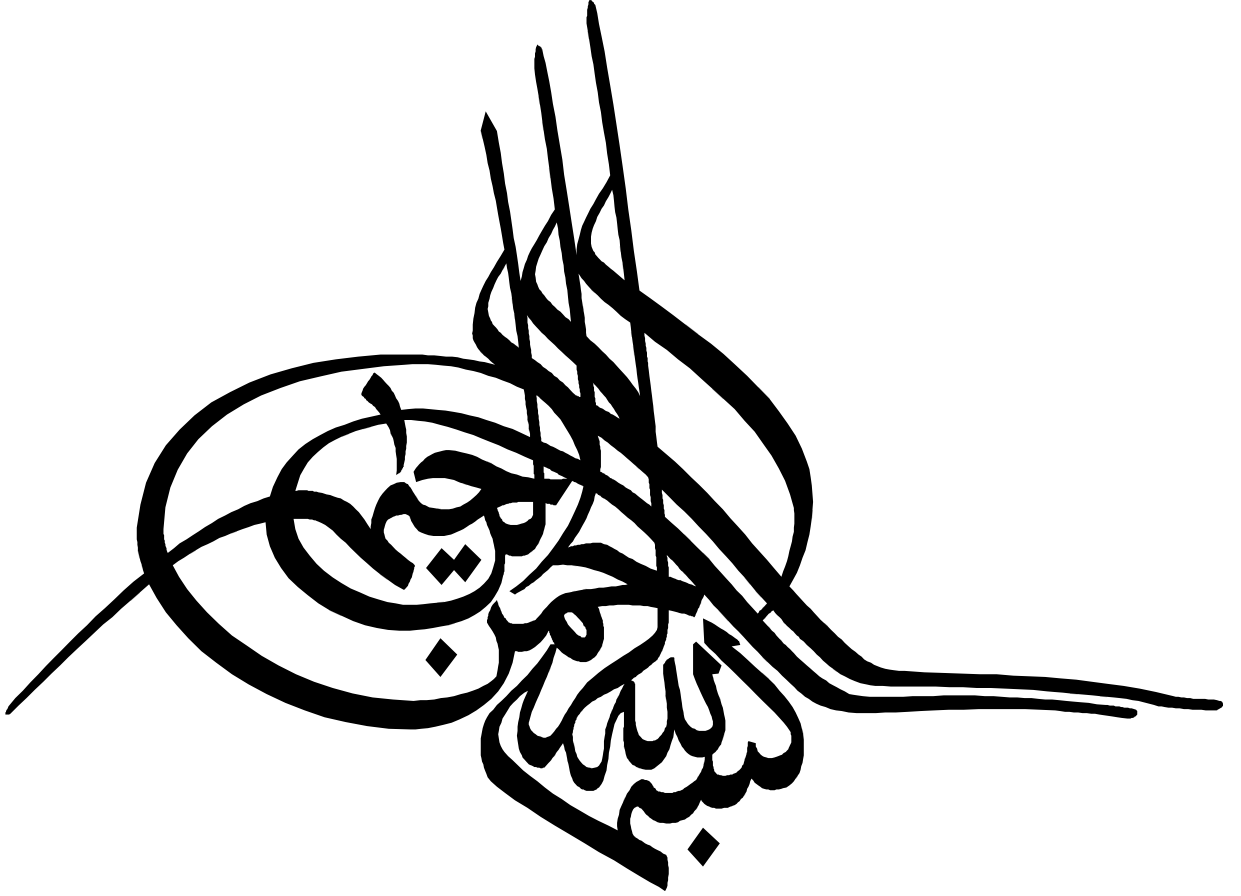
استاد مشاور:

دکتر علی کمک پناه

پروردگار چهاره با ما باد

مباد که فراموش کنیم خدا را

آری این هرگز مباد.



تقدیم به روح بلند استاد فقید

دکتر فرهاد علمی

تقدیم به صلابت دستهای پدرم که استواری درختان از ریشه است و

تقدیم به آفتابی نگاه مادرم که آفتابگردانها از نگاه کرم خورشید رنگ می گیرند.

تقدیم به همسر عزیزم که غم غربت را با دیدگان پر مهرش به شادی قربت بدل ساخته و در

هرکام همراه و همیارم بود.

تقدیر و تشکر:

" حمد و سپاس خداوند را که با نیروی عقل و دانش انسان را بر سایر مخلوقات برتری داد، او

که در تمام مراحل زندگی یاریم نمود و لحظه‌ای به خود وانگذاشت. "

اکنون که در سایه الطاف ایزد منان تدوین و نگارش این مختصر به پایان رسیده است بر خود فرض می‌دانم از اساتید بزرگوار و ارجمندم و کلیه افرادی که به نحوی اینجانب را یاری نموده‌اند نهایت تشکر و سپاسگزاری را داشته باشم و از خداوند متعال سلامت و موفقیت روزافزون آنان را طلب نمایم. از استاد بزرگوار و گرامی جناب آقای دکتر محمود یزدانی که به‌عنوان استاد راهنما با ارشادات ارزنده خود رهروی راهم بودند و بی‌شک بدون یاری ایشان انجام این پروژه غیر ممکن می‌بود، کمال تشکر و امتنان را دارد.

از جناب آقای دکتر علی کمک‌پناه که به‌عنوان استاد مشاور که قبول زحمت فرموده و مرا مورد لطف و عنایت خود قرار داده‌اند، صمیمانه تشکر می‌نماید. همچنین شایسته است از جناب آقای مهندس مسعود دائیان (سرپرست بخش ابزار دقیق شرکت مهندسی مشاور مشانیر در کارگاه سیاه‌بیشه)، جناب آقای مهندس علی قهرمانی (مدیر بخش ژئوتکنیک شرکت ساختمانی تابلیه) و جناب آقای مهندس علی نعمتی حیاتی که با مساعدت‌های بی‌دریغ خود مرا یاری رسانده‌اند، تشکر و قدردانی به عمل آید.

چکیده:

در حال حاضر از روشهای عددی بطور وسیعی در طراحی سازه های سنگی نظیر تونلها، فضاهای بزرگ زیرزمینی، فونداسیون سدها و نظایر آن استفاده می شود. اما پیش بینی رفتار مکانیکی چنین سازه هایی با دقت کافی بسیار دشوار است و اعتبار این پیش بینی ها به دقت اطلاعات ورودی بستگی دارد. برای رفع این مشکل در زمان ایجاد سازه مورد نظر اندازه گیری صحرایی صورت می گیرد که علاوه بر بررسی پایداری سازه، جهت ارزیابی مجدد اطلاعات زمین شناسی و پارامترهای ژئومکانیکی ورودی طراحی نیز، از آنها استفاده می شود. درحقیقت رفتارنگاری جابجایی ها یک ضرورت برای مقایسه با پیش فرض های طراحی است. سؤالی که در اینجا مطرح می شود آن است که چگونه می توان بطور کمی نتایج اندازه گیری های صحرایی را در جهت ارزیابی طراحی اولیه و نحوه ساخت فضای زیرزمینی تفسیر نمود. برای پاسخ به این سؤال می توان از تحلیل برگشتی که تکنیک مفیدی برای ارزیابی پارامترهای ژئومکانیکی سازه های زیرزمینی و سطحی با تکیه بر اندازه گیری های برجای متغیرهای کلیدی مانند جابجایی، تنش و کرنش در ساختگاه طرح است، استفاده نمود.

سد و نیروگاه تلمبه ذخیره ای سیاهبیشه در فاصله ۱۲۵ کیلومتری شمال شرقی تهران با هدف اصلی ایجاد تعادل در برق مصرفی کشور در ساعات پر بار و کم بار مصرف، در حال احداث می باشد. سازه مغار نیروگاه به طول ۱۳۰ متر و عرض ۲۲ متر و ارتفاع ۴۲ متر بوده و ابزارهای دقیق مورد استفاده در آن شامل کشیدگی سنج میله ای، نیروسنج، همگراسنج نواری و علائم نقشه برداری می باشد که در مراحل مختلف نصب و در فواصل زمانی معین قرائت می گردند. پارامترهای توده سنگ جهت طراحی مغار نیروگاه بر اساس روابط تجربی و آزمایشگاهی و مطالعاتی مختلف توسط مشاوران طرح در نظر گرفته شده است. در مطالعه پیش رو سعی گردید تا با جمع آوری قرائت های ابزار دقیق و استخراج مطمئن ترین و قابل قبول ترین نتایج که نشانگر میزان جابجایی ها، تنش ها و نیروهای وارد بر دیوارها و تاج مغار نیروگاه در مقاطع مختلف زمانی و مکانی می باشد نسبت به تحلیل برگشتی جهت تخمین و دستیابی به پارامترهای واقعی پایه توده سنگ و کنترل آن با پارامترهای اولیه منظور شده در طراحی مغار نیروگاه اقدام گردد.

کلمات کلیدی: مغار نیروگاه سیاهبیشه، تحلیل برگشتی، ابزارنگاری، پارامترهای ژئومکانیکی



Tarbiat Modares University
Engineering Faculty

Thesis

Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree
of Master of Science (M.Sc) in Department of Civil Engineering
School of Geotechnical Engineering

Estimation of Mechanical Behaviour Parameters of
Rock Mass in Siah-Bisheh Power House Cavern
Based on Monitoring Instruments Results

By:
Keyvan Kamrani

Supervisor:
Dr. Mahmoud Yazdani

Advisor:
Dr. Ali Komakpanah

July 2009

Abstract:

Siah-Bisheh pump storage project is located in Alborz mountain range, 125 km north of Tehran, in the vicinity of Siah-Bisheh village. The site can be reached by Chalus road, connecting Tehran to the Caspian Sea. This Plant is designed to produce a rated capacity of 1040 MW peak energy. In this project, two concrete face rock fill dams will be constructed in Chalus valley for the water storage. Siah-Bisheh powerhouse cavern (PHC) is one of the largest underground power plants of its kind in Iran. The underground complex consists of three main caverns placed near each other which are supported with the combination of shotcrete, tendons and rock bolts. The powerhouse cavern is to be excavated at a depth of about 250 m. The instruments used are inclusive extensometers, load cells, convergency and geodetic points. Rock mass parameters selected for design of powerhouse cavern have been based on laboratory tests and conventional rock mass classification methods.

Back analysis as a modern observation method is a helpful technique for evaluation of parameters in rock masses and prediction of their mechanical behaviour. Most back analyses in geotechnical engineering are based on the methods that utilize the monitored data of stresses and displacements. This technique is one of the prominent processes in designing and evaluation of caverns that reveals the weak points of supports design and in fact is essential for evaluation of design parameters. In this study, numerical back analyses have been conducted to estimate the real geomechanical parameters of jointed rock masses in the power house cavern (PHC) and compare the values with the initial designing parameters. The analyses are based on the most confidential monitoring instruments and the associated acceptable readings.

Keywords: Siah-Bisheh Cavern, Back Analysis, Monitoring Instruments, Geomechanical Parametrs.

فصل اول:

کلمات

فصل دوم:

مرور ادبیات فنی

فصل سوم:

معرفی مغار نیروگاه سیاہ پستہ

فصل چہارم:

حناری، حکیم و رفتار حناری

مغار نیر و گاہ سیاہ

فصل پنجم:

تخلیل برکشی مغار نیروگاه سیاہ پستہ

فصل هشتم:

جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

فهرست مطالب

۱	فصل ۱: کلیات
۱-۱	۱-۱- زمینه تحقیق
۲-۱	۲-۱- اهداف پروژه
۳-۱	۳-۱- اهمیت انجام
۴-۱	۴-۱- سوابق انجام تحقیق در سطح بین المللی
۵-۱	۵-۱- شیوه انجام تحقیق
۵	فصل ۲: مرور ادبیات فنی
۱-۲	۱-۲- مقدمه
۲-۲	۲-۲- روش‌های تخمین پارامترهای رفتاری توده‌های سنگ
۲-۲-۲	۲-۲-۲- آزمون‌های برجا
۳-۲-۲	۳-۲-۲- روش مشاهداتی
۳-۲	۳-۲- اصول مدل‌سازی عددی
۱-۳-۲	۱-۳-۲- ایجاد شبکه
۲-۳-۲	۲-۳-۲- شرایط مرزی
۳-۳-۲	۳-۳-۲- شرایط اولیه
۴-۳-۲	۴-۳-۲- مدل مصالح
۵-۳-۲	۵-۳-۲- خواص مصالح
۶-۳-۲	۶-۳-۲- تفسیر نتایج
۴-۲	۴-۲- تحلیل برگشتی
۱-۴-۲	۱-۴-۲- مقدمه
۲-۴-۲	۲-۴-۲- مقایسه تحلیل برگشتی و تحلیل عادی
۳-۴-۲	۳-۴-۲- انواع روش‌های حل برگشتی
۴-۴-۲	۴-۴-۲- مسائل و مشکلات روش تحلیل برگشتی
۵-۴-۲	۵-۴-۲- تعیین مدل
۶-۴-۲	۶-۴-۲- ملاحظات مهم در تحلیل برگشتی

۲۶	..... مبنای محاسبات تحلیل برگشتی
۲۷	..... فرمولاسیون ریاضی تحلیل برگشتی
۳۱	..... فصل ۳: معرفی مغار نیروگاه سیاه‌بیشه
۳۱	..... ۱-۳- مقدمه
۳۲	..... ۲-۳- توصیف بخش‌های اصلی پروژه
۳۴	..... ۳-۳- زمین‌شناسی عمومی منطقه
۳۴	..... ۱-۳-۳- زمین‌شناسی و لیتولوژی محدوده نیروگاه
۳۵	..... ۲-۳-۳- ویژگی‌های گسل‌ها و پتانسیل لرزه‌ای منطقه
۳۵	..... ۴-۳- ویژگی‌های سنگ محدوده مغار نیروگاه
۳۵	..... ۱-۴-۳- مقاومت سنگ
۳۷	..... ۲-۴-۳- تغییر شکل پذیری سنگ
۳۷	..... ۳-۴-۳- پارامترهای ناپیوستگی‌ها
۳۸	..... ۴-۴-۳- پارامترهای توده سنگ
۴۱	..... ۵-۴-۳- تنش‌های اولیه
۴۱	..... ۵-۳- بار زلزله
۴۲	..... ۶-۳- هندسه مغار نیروگاه، ترانسفورمر و دریچه‌ها
۴۵	..... فصل ۴: حفاری، تحکیم و رفتارنگاری مغار نیروگاه سیاه‌بیشه
۴۵	..... ۱-۴- مراحل حفاری و تحکیم
۴۶	..... ۱-۱-۴- حفاری
۴۶	..... ۲-۱-۴- تحکیم
۵۳	..... ۲-۴- رفتارسنجی و نتایج اندازه‌گیری
۵۳	..... ۱-۲-۴- مقدمه
۵۵	..... ۲-۲-۴- ابزارهای دقیق مورد استفاده در مغار
۵۷	..... ۳-۲-۴- سیستم مانیتورینگ مغار نیروگاه
۷۹	..... فصل ۵: تحلیل برگشتی مغار نیروگاه سیاه‌بیشه

۷۹	۱-۵- مقدمه
۷۹	۲-۵- روند و نتایج حاصل از عملیات تحلیل برگشتی مغار نیروگاه سیاه‌بیشه
۷۹	۱-۲-۵- عملکرد محیط
۸۰	۲-۲-۵- انتخاب مدل رفتاری
۸۲	۳-۲-۵- معرفی نرم‌افزار $Phase^2$
۸۳	۴-۲-۵- تحلیل برگشتی مستقیم
۱۱۱	فصل ۶: بحث و نتیجه‌گیری
۱۱۱	۱-۶- بحث
۱۱۲	۲-۶- نتیجه‌گیری
۱۱۲	۱-۲-۶- نتایج کلی
۱۱۳	۱-۲-۶- نتایج حاصل از مطالعه موردی
۱۱۴	۳-۶- پیشنهادات
۱۱۵	مراجع

فهرست اشکال

- شکل ۲-۱: ارتباط بین تحلیل برگشتی و تحلیل عادی ۱۳
- شکل ۲-۲: مقایسه بین تحلیل عادی و تحلیل برگشتی ۱۴
- شکل ۲-۳: تقسیم‌بندی روش‌های مختلف تحلیل برگشتی قابل کاربرد در مسائل مهندسی ژئوتکنیک ۲۳
- شکل ۳-۱: موقعیت جغرافیایی و راه‌های دسترسی به طرح سد و نیروگاه سیاه بیشه ۳۱
- شکل ۳-۲: شمایی از کل پروژه سد و نیروگاه سیاه بیشه ۳۲
- شکل ۳-۳: شمایی از بخش‌های مختلف زیرزمینی پروژه سد و نیروگاه سیاه بیشه ۳۳
- شکل ۳-۴: دیاگرام تراکم ناپیوستگی‌ها در تونل مرکزی تاج مغار نیروگاه ۳۸
- شکل ۳-۵: شمایی از پلان مغار نیروگاه و ترانسفورمر ۴۲
- شکل ۳-۶: تونل‌ها و شفت‌های منتهی به مغار نیروگاه در دیوار بالادست و در دیوار پایین دست ۴۳
- شکل ۳-۷: شمایی از مغار نیروگاه، ترانسفورمر و سیستم باس‌بارها ۴۳
- شکل ۳-۸: شمایی از مغار نیروگاه، مغار ترانسفورمر و مغار دریچه‌ها ۴۴
- شکل ۴-۱: شمایی از توالی حفاری‌ها در مقطع مانیتورینگ ۱ (چپ) و ۲ (راست) ۴۷
- شکل ۴-۲: شمایی از توالی حفاری‌ها در مقطع مانیتورینگ ۳ (چپ) و ۴ (راست) ۴۷
- شکل ۴-۳: شمایی از توالی حفاری‌ها در مقطع مانیتورینگ ۵ (چپ) و ۶ (راست) ۴۸
- شکل ۴-۴: شمایی از سیستم تحکیم مغار نیروگاه ۴۸
- شکل ۴-۵: شمایی از حفاری و تحکیمات تاج مغار نیروگاه ۵۱
- شکل ۴-۶: شمایی از سیستم مانیتورینگ در مقطع طولی مغار نیروگاه ۵۸
- شکل ۴-۷: نتایج کشیدگی سنج مرکز سقف-مقطع ۱ (PHC-EX1-RC) ۵۹
- شکل ۴-۸: نتایج بارسنج‌های مرکز سقف-مقطع ۱ ۵۹
- شکل ۴-۹: نتایج کشیدگی سنج دیوار پایین دست-مقطع ۱ (PHC-EX1-DS-CB) ۶۰
- شکل ۴-۱۰: نتایج کشیدگی سنج‌ها دیوار بالادست-مقطع ۱ (PHC-EX1-UD-CB) ۶۰
- شکل ۴-۱۱: نتایج بارسنج‌های دیوار بالادست-مقطع ۱ تراز CB ۶۰
- شکل ۴-۱۲: نمایش شماتیک سیستم مانیتورینگ مقطع ۱ ۶۱
- شکل ۴-۱۳: نتایج کشیدگی سنج پایین دست سقف-مقطع ۲ (PHC-EX2-RD) ۶۲
- شکل ۴-۱۴: نتایج کشیدگی سنج دیوار پایین دست-مقطع ۲ (PHC-EX2-DS-CB) ۶۲
- شکل ۴-۱۵: نتایج بارسنج‌ها دیوار پایین دست-مقطع ۲ تراز CB ۶۲
- شکل ۴-۱۶: شمایی کشیدگی سنج جدید، جایگزین EX2-DS-CB ۶۳
- شکل ۴-۱۷: نتایج کشیدگی سنج دیوار پایین دست-مقطع ۲ (PHC-EX2-DS-CB(new)) ۶۳
- شکل ۴-۱۸: شمایی انکرهای اضافی نصب شده در دیوار پایین دست، مانیتورینگ مقطع ۲ ۶۴
- شکل ۴-۱۹: نتایج کشیدگی سنج دیوار بالادست-مقطع ۲ (PHC-EX2-US-CB) ۶۴

- شکل ۴ - ۲۰: نتایج کشیدگی سنج‌ها دیوار بالادست-مقطع ۲ (PHC-EX2-US-MF) ۶۵
- شکل ۴ - ۲۱: نتایج کشیدگی سنج‌ها دیوار بالادست-مقطع ۲ (PHC-EX2-US-TF) ۶۵
- شکل ۴ - ۲۲: نتایج بارسنج‌ها دیوار بالادست-مقطع ۲ تراز MF، CB و TF ۶۵
- شکل ۴ - ۲۳: نمایش شماتیک سیستم مانیتورینگ مقطع ۲ ۶۶
- شکل ۴ - ۲۴: مقایسه کشیدگی سنج‌ها و بارسنج‌ها در سقف بالادست-مقطع ۳ ۶۷
- شکل ۴ - ۲۵: نتایج کشیدگی سنج‌ها دیوار پایین دست-مقطع ۳ (PHC-EX3-DS-TF) ۶۷
- شکل ۴ - ۲۶: نتایج بارسنج‌ها دیوار پایین دست-مقطع ۳ (PHC-EX3-DS-TF) ۶۷
- شکل ۴ - ۲۷: نمایش شماتیک سیستم مانیتورینگ مقطع ۳ ۶۸
- شکل ۴ - ۲۸: نتایج کشیدگی سنج مرکز سقف-مقطع ۴ (PHC-EX4-RC) ۶۹
- شکل ۴ - ۲۹: نتایج بارسنج‌ها مرکز سقف-مقطع ۴ (PHC-LC4-RC) ۶۹
- شکل ۴ - ۳۰: نتایج کشیدگی سنج دیوار پایین دست-مقطع ۴ (PHC-EX4-DS-CB) ۶۹
- شکل ۴ - ۳۱: نتایج بارسنج‌های دیوار پایین دست-مقطع ۴ ۷۰
- شکل ۴ - ۳۲: نتایج کشیدگی سنج دیوار بالادست-مقطع ۴ (PHC-EX4-CB) ۷۰
- شکل ۴ - ۳۳: نتایج بارسنج‌ها دیوار بالادست-مقطع ۴ ۷۰
- شکل ۴ - ۳۴: نمایش شماتیک سیستم مانیتورینگ مقطع ۴ ۷۱
- شکل ۴ - ۳۵: نتایج کشیدگی سنج مرکز سقف-مقطع ۵ (PHC-EX5-RC) ۷۲
- شکل ۴ - ۳۶: نتایج بارسنج‌ها مرکز سقف-مقطع ۵ (PHC-LC5-RC) ۷۲
- شکل ۴ - ۳۷: نتایج کشیدگی سنج دیوار پایین دست-مقطع ۵ (PHC-EX5-DS-CB) ۷۲
- شکل ۴ - ۳۸: نتایج بارسنج‌ها دیوار پایین دست-مقطع ۵ ۷۳
- شکل ۴ - ۳۹: نتایج کشیدگی سنج دیوار بالادست-مقطع ۵ (PHC-EX5-CB) ۷۳
- شکل ۴ - ۴۰: نتایج کشیدگی سنج دیوار بالادست-مقطع ۵ (PHC-EX5-MF) ۷۳
- شکل ۴ - ۴۱: نتایج بارسنج‌ها دیوار بالادست-مقطع ۵ ۷۴
- شکل ۴ - ۴۲: نمایش شماتیک سیستم مانیتورینگ مقطع ۵ ۷۴
- شکل ۴ - ۴۳: نتایج کشیدگی سنج سقف پایین دست-مقطع ۶ (PHC-EX6-RD) ۷۵
- شکل ۴ - ۴۴: نتایج بارسنج‌ها پایین دست سقف-مقطع ۶ (PHC-LC6-RD) ۷۵
- شکل ۴ - ۴۵: نتایج کشیدگی سنج دیوار پایین دست-مقطع ۶ (PHC-EX6-DS-TF) ۷۵
- شکل ۴ - ۴۶: نتایج بارسنج دیوار پایین دست-مقطع ۶ ۷۶
- شکل ۴ - ۴۷: نتایج کشیدگی سنج دیوار بالادست-مقطع ۶ (PHC-EX6-CB) ۷۶
- شکل ۴ - ۴۸: نتایج بارسنج‌های دیوار بالادست-مقطع ۶ ۷۷
- شکل ۴ - ۴۹: نمایش شماتیک سیستم مانیتورینگ مقطع ۶ ۷۷
- شکل ۴ - ۵۰: تصویر شماتیک زون‌های برشی اصلی در تراز تیر جرثقیل ۷۸
- شکل ۴ - ۵۱: تصویر شماتیک زون‌های برشی اصلی در تراز کف ماشین ۷۸

- شکل ۵-۱: تقسیم زمین به سه مدل: (a) پیوسته، (b) ناپیوسته و (c) شبه پیوسته ۷۹
- شکل ۵-۲: یک نمونه از نمودار تنش- کرنش بر اساس آزمایش مقاومت فشاری تک محوری ۸۱
- شکل ۵-۵: ساخت مدل اجزای محدود مقطع مانیتورینگ ۲ ۸۵
- شکل ۵-۶: مدل استاندارد و معکوس براساس زمین شناسی فرضی ۸۵
- شکل ۵-۷: شمایی از جابجایی های محاسبه شده در انتهای حفاری ۸۷
- شکل ۵-۸: مقایسه جابجایی های اندازه گیری شده و محاسبه شده مانیتورینگ مقطع ۲ در انتهای حفاری ۸۸
- شکل ۵-۹: شمایی از ناحیه کاهش پارامترهای برشی در مدل اجزای محدود مقطع مانیتورینگ ۲ ۸۹
- شکل ۵-۱۰: مقایسه جابجایی های اندازه گیری شده و محاسبه شده مانیتورینگ مقطع ۲ در شرایط درازمدت .. ۹۰
- شکل ۵-۱۱: شمایی از زمین شناسی واقعی و مدل اجزای محدود مانیتورینگ مقطع ۲ ۹۱
- شکل ۵-۱۲: نقشه زمین شناسی ازبیلت و مدل مربوطه برای مانیتورینگ مقطع ۵ ۹۳
- شکل ۵-۱۳: مقایسه جابجایی های اندازه گیری شده و محاسبه شده مانیتورینگ مقطع ۵ در انتهای حفاری ۹۵
- شکل ۵-۱۴: مقایسه جابجایی های اندازه گیری شده و محاسبه شده مانیتورینگ مقطع ۵ در شرایط درازمدت .. ۹۶
- شکل ۵-۱۵: مدل استاندارد مقطع مانیتورینگ ۱ ۹۷
- شکل ۵-۱۶: مقایسه جابجایی های اندازه گیری شده و محاسبه شده مانیتورینگ مقطع ۱ ۹۸
- شکل ۵-۱۷: شمایی از ناحیه کاهش پارامترهای برشی در مدل اجزای محدود مقطع مانیتورینگ ۱ ۹۹
- شکل ۵-۱۸: مقایسه جابجایی های اندازه گیری شده و محاسبه شده مانیتورینگ مقطع ۱ ۱۰۰
- شکل ۵-۱۹: نقشه زمین شناسی ازبیلت و مدل مربوطه برای مانیتورینگ مقطع ۵ ۱۰۱
- شکل ۵-۲۰: مقایسه جابجایی های اندازه گیری شده و محاسبه شده مانیتورینگ مقطع ۱ در شرایط درازمدت .. ۱۰۳
- شکل ۵-۳: مراحل جستجوی نقاط بهینه به روش مستقیم ۱۰۵
- شکل ۵-۴: الگوریتم بهینه سازی به روش تک متغیره ۱۰۶
- شکل ۵-۲۱: پروسه جستجوی نقطه بهینه در مقطع مانیتورینگ ۵ تا انتهای حفاری ۱۰۹
- شکل ۵-۲۲: تغییرات تابع خطا در برابر گام تکرار مقطع مانیتورینگ ۵ تا انتهای حفاری ۱۰۹
- شکل ۵-۲۳: تغییرات تابع خطا در برابر گام تکرار مقطع مانیتورینگ ۵ در شرایط درازمدت ۱۱۰
- شکل ۵-۲۴: تغییرات تابع خطا در برابر گام تکرار مقطع مانیتورینگ ۵ در شرایط درازمدت ۱۱۰