





وزارت علوم، تحقیقات و فناوری

دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره) قزوین - دانشکده فنی و مهندسی

گروه مهندسی معدن

پایان نامه تخصصی برای دریافت درجه کارشناسی ارشد مهندسی معدن گرایش استخراج

عنوان پایان نامه:

بررسی رفتار مغار نیروگاه سد سیاه بیشه به روش آنالیز برگشتی با استفاده از داده های

حاصل از ابزار دقیق

استاد راهنما:

دکتر مهدی حسینی

مشاوران صنعتی:

دکتر احد باقرزاده

مهندس هنرمند زهرودی

نگارنده:

احمد رضا افضل آقایی

اسفند ۸۸

بسمه تعالی



دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره)  
معاونت آموزشی دانشگاه - مدیریت تحصیلات تکمیلی  
(فرم شماره ۲۶)

تعهد نامه اصالت پایان نامه

اینجانب احمد رضا افضل دانشجوی رشته استخراج معادن مقطع تحصیلی کارشناسی ارشد بدین وسیله اصالت کلیه مطالب موجود در مباحث مطروحه در پایان نامه / تز تحصیلی خود، با عنوان بررسی و مقایسه روش‌های استخراج معادن در استان خراسان جنوبی را تأیید کرده، اعلام می‌نمایم که تمامی محتوی آن حاصل مطالعه، پژوهش و تدوین خودم بوده و به هیچ وجه رونویسی از پایان نامه و یا هیچ اثر یا منبع دیگری، اعم از داخلی، خارجی و یا بین المللی، نبوده و تعهد می‌نمایم در صورت اثبات عدم اصالت آن و یا احراز عدم صحت مفاد و یا لوازم این تعهد نامه در هر مرحله از مراحل منتهی به فارغ التحصیلی و یا پس از آن و یا تحصیل در مقاطع دیگر و یا اشتغال و ... دانشگاه حق دارد ضمن رد پایان نامه نسبت به لغو و ابطال مدرک تحصیلی مربوطه اقدام نماید. مضافاً اینکه کلیه مسئولیت‌ها و پیامدهای قانونی و یا خسارت وارده از هر حیث متوجه اینجانب می‌باشد.

نام و نام خانوادگی دانشجو احمد رضا افضل، عالی

امضاء و تاریخ ۸۸/۱۲/۲

دانشگاه بین‌المللی امام خمینی



IMAM KHOMAYNI  
INTERNATIONAL UNIVERSITY

### تأییدیه هیأت داوران

جلسه دفاع از پایان‌نامه کارشناسی ارشد آقای احمد رضا افضل آقایی رشته مهندسی معدن با عنوان « بررسی رفتار مغار نیروگاه سد سیاه بیشه به روش آنالیز برگشتی با استفاده از داده های حاصل از ابزار دقیق » در تاریخ ۱۳۸۸/۱۲/۱۲ در سالن آمفی تئاتر دانشکده فنی و مهندسی برگزار گردید و با نمره ۱۹/۵ و درجه عالی مورد تأیید هیأت داوران قرار گرفت.

اعضای هیأت داوران:

استاد راهنما: دکتر مهدی حسینی

اساتید مشاور:

دکتر احد باقرزاده خلخالی

مهندس رضا هنرمند زهرودی

داور خارجی: دکتر عبدالهادی قزوینیان

داور داخلی: دکتر عقیقی

نماینده تحصیلات تکمیلی: دکتر علی فضلوی

تقدیم بہ پدر و مادر عزیزم

## چکیده

برای طراحی و احداث حفریات زیرزمینی، تعیین تنش‌های برجا و خصوصیات مکانیکی توده-سنگ احاطه کننده فضای زیرزمینی ضروری است. بعضی از آزمایش‌ها برای تعیین این پارامترها انجام می‌شود. برای مثال می‌توان به آزمایش دیلاتومتری و آزمایش شکست هیدرولیکی اشاره کرد. این آزمایش‌ها معمولاً زمان بر و پرهزینه می‌باشند. همچنین در نتایج آزمایش‌های برجا و آزمایشگاهی معمولاً پراکندگی محسوس وجود دارد. این پراکندگی به علت آنیزوتروپی و ناهمگنی سنگ‌ها می‌باشد. برای غلبه بر این مشکلات می‌توان از روش آنالیز برگشتی جهت تعیین خصوصیات مکانیکی توده سنگ با استفاده از داده‌های رفتارسنجی استفاده کرد. در این تحقیق از الگوریتم جستجوی تک متغیره و نرم افزار FLAC3D برای تعیین مدول الاستیسیته (E) و نسبت تنش افقی به قائم (K) مغار نیروگاه سد سیاه بیشه استفاده شده است. تحلیل پایداری مغار به کمک نتایج رفتارسنجی و تکنیک کنترل مستقیم کرنش بررسی شده است. نتایج نشان می‌دهد که دیواره‌ها و سقف مغار با سیستم نگهداری نصب شده پایدار می‌باشد.

**کلمات کلیدی:** آنالیز برگشتی، الگوریتم جستجوی تک متغیره، FLAC3D، تکنیک کنترل مستقیم

کرنش

## تقدیر و تشکر

حمد و سپاس خدائی را که در به اتمام رسیدن این پروژه مروری نمود. وظیفه خود می دانم از زحمات کسانی که در انجام پایان نامه حاضر مرا یاری نمودند تشکر و قدرانی نمایم. در ابتدا از زحمات استاد ارجمند، جناب آقای دکتر مهدی حسینی که راهنمایی اینجانب را در انجام این پروژه داشتند، کمال تشکر و سپاسگذاری را دارم. از جناب آقای دکتر احد باقرزاده نیز به خاطر کمک و همیاری در مراحل مختلف پایان نامه، قدردانی می نمایم. همچنین از جناب آقای مهندس بهرمنذر زهرودی نیز به خاطر کمک و حمایت بی شائبه ایشان، کمال سپاسگذاری را دارم. در نهایت از خانواده عزیزم که با فراهم آوردن بستری مناسب، موجبات انجام بدون دغدغه این پایان نامه را فراهم نمودند نیز تشکر و قدرانی می نمایم.

## فهرست

فصل اوّل: مقدّمه.....	۱
فصل دوّم: ویژگیهای کلی طرح سد سیاه بیشه.....	۴
۱-۲- مقدّمه.....	۵
۲-۲- موقعیت و جانمایی سد سیاه بیشه.....	۶
۳-۲- تاریخچه.....	۷
۴-۲- اهداف طرح.....	۹
۵-۲- ویژگیها.....	۹
۶-۲- مشخصات فنی سد سیاه بیشه.....	۹
۱-۶-۲- تونل‌های آبرسان.....	۱۱
۲-۶-۲- تونل‌های پایاب.....	۱۱
۳-۶-۲- مغار نیروگاه.....	۱۱
۴-۶-۲- مغار ترانسفورمر.....	۱۱
۵-۶-۲- گالری کابل.....	۱۱
۶-۶-۲- گالری دریچه‌ها.....	۱۱
۷-۲- سازندهای موجود در منطقه.....	۱۲
۸-۲- سنگ شناسی.....	۱۲
۱-۸-۲- سنگ‌های رسوبی.....	۱۳
۲-۸-۲- سنگ‌های آذرین.....	۱۳
۹-۲- جهت گیری ناپیوستگی‌ها.....	۱۴



- ۱۵-۱۰-۲- خصوصیات مکانیکی عمده سنگهای منطقه ..... ۱۵
- ۱۶-۱۱-۲- روش حفر مغار ..... ۱۶
- ۱۷-۱۲-۲- مشخصات هندسی مغارها ..... ۱۷
- ۱۸- فصل سوم: اصول یک آنالیز عددی صحیح ..... ۱۸
- ۱۹-۱-۳- کلیات روش در انجام یک آنالیز موفق ..... ۱۹
- ۲۰-۱-۱-۱- مرحله ۱: تعریف اهداف مورد نظر برای آنالیز مدل ..... ۲۰
- ۲۰-۱-۱-۲- مرحله ۲: ایجاد یک تصویر ذهنی مقبول از سیستم فیزیکی ..... ۲۰
- ۲۰-۱-۱-۳- مرحله ۳: ایجاد و اجرای مدل ساده ایده آل ..... ۲۰
- ۲۱-۱-۱-۴- مرحله ۴: گردآوری داده های مشخص برای مساله ..... ۲۱
- ۲۱-۱-۱-۵- مرحله ۵: تهیه مدل باجزئیات ..... ۲۱
- ۲۲-۱-۱-۶- مرحله ۶: انجام محاسبات مدل ..... ۲۲
- ۲۲-۱-۱-۷- مرحله ۷: ارائه نتایج برای تفسیر ..... ۲۲
- ۲۲-۲-۳- انتخاب روش عددی مناسب و نرم افزار مورد استفاده ..... ۲۲
- ۲۳-۳-۳- نرم افزار FLAC3D ..... ۲۳
- ۲۴-۴-۳- مقایسه اجمالی با سایر روشها ..... ۲۴
- ۲۵-۵-۳- حوزه کاربرد برنامه ..... ۲۵
- ۲۶- فصل چهارم: رفتارسنجی ..... ۲۶
- ۲۷-۱-۴- مقدمه ..... ۲۷
- ۲۷-۲-۴- اهداف رفتار نگاری ..... ۲۷
- ۲۸-۳-۴- رفتارسنجی در مراحل مختلف طراحی و اجرای سازه های زیرزمینی ..... ۲۸

۲۸	۴-۳-۱- رفتار نگاری در مرحله طراحی
۲۸	۴-۳-۲- رفتار نگاری حین اجرا
۲۹	۴-۴- رفتار نگاری پس از اجرای پروژه
۲۹	۴-۵- کلیات پروژه ابزار بندی
۳۰	۴-۶- ابزار مورد استفاده در رفتار سنجی
۳۱	۴-۷- مراحل کار در رفتارسنجی
۳۳	۴-۸- ابزارهای دقیق متداول در فضاهای زیرزمینی
۳۵	۴-۹- ابزارهای دقیق مورد استفاده در مغار نیروگاه سیاه بیشه
۳۵	۴-۹-۱- مقاطع ابزار دقیق
۳۵	۴-۹-۲- انواع ابزار دقیق به کار رفته در مغار نیروگاه
۳۶	۴-۹-۲-۱- کشیدگی سنج‌ها
۳۷	۴-۹-۲-۱-۱- نصب کشیدگی سنج‌ها
۳۹	۴-۹-۲-۲- همگرایی سنج
۴۰	۴-۹-۲-۳- بارسنج
۴۱	۴-۹-۲-۳-۱- بارسنج سیم لرزان
۴۱	۴-۹-۲-۴- پیزومتر
۴۲	۴-۹-۲-۴-۱- پیزومترهای سیم لرزان
۴۳	۴-۹-۲-۵- ایستگاه‌های ژئودتیک
۴۵	فصل پنجم: تحلیل برگشتی
۴۶	۵-۱- مقدمه

۴۷	..... ۲-۵- آنالیز برگشتی
۵۱	..... ۳-۵- اهداف عمده آنالیز برگشتی
۵۱	..... ۴-۵- روش های تحلیل برگشتی
۵۱	..... ۱-۴-۵- روش معکوس
۵۲	..... ۲-۴-۵- تحلیل برگشتی به روش مستقیم
۵۳	..... ۱-۲-۴-۵- تکنیک های بهینه سازی
۵۵	..... ۱-۱-۲-۴-۵- روش جستجوی تک متغیره
۵۶	..... ۲-۱-۲-۴-۵- روش جستجوی الگویی
۵۷	..... ۳-۱-۲-۴-۵- روش جستجوی تک متغیره جایگزین
۵۸	..... فصل ششم: آنالیز برگشتی مغار نیروگاه با استفاده از تکنیک جستجوی تک متغیره
۵۹	..... ۱-۶- تعیین پارامترهای مجهول
۵۹	..... ۲-۶- قسمتهای مدل شده
۵۹	..... ۳-۶- شرایط مرزی در مدل
۶۱	..... ۴-۶- مختصات مدل
۶۲	..... ۵-۶- مدل رفتاری
۶۳	..... ۶-۶- خصوصیات لایه ها
۶۵	..... ۷-۶- اعمال سیستم نگهداری
۶۸	..... ۸-۶- انتخاب مقطع و نوع ابزار دقیق مناسب برای آنالیز برگشتی
۶۹	..... ۹-۶- انجام آنالیز برگشتی
۷۵	..... فصل هفتم: تحلیل پایداری مغار نیروگاه با استفاده از داده های ابزار دقیق

۷۶	۱-۷- مقدمه .....
۷۶	۲-۷- روش کنترل مستقیم کرنش .....
۷۷	۳-۷- تراز هشدار خطر .....
۷۸	۴-۷- محاسبه کرنش بحرانی در مغار نیروگاه سد سیاه بیشه .....
۷۹	۵-۷- محاسبه کرنش های ایجاد شده در دیواره ها و سقف مغار نیروگاه .....
۸۵	نتیجه گیری و پیشنهادات .....
۸۶	منابع و مأخذ .....
۸۸	پیوست .....

## فهرست جداول

- جدول ۱-۲: مشخصات سد بالا دست و پایین دست..... ۱۰
- جدول ۲-۲: شیب و جهت شیب لایه بندی و درزه های اصلی برداشت شده در سال ۱۹۸۰..... ۱۵
- جدول ۳-۲: شیب و جهت شیب لایه بندی و درزه های اصلی، برداشت شده در سال ۲۰۰۵..... ۱۵
- جدول ۴-۲: خصوصیات مکانیکی عمده سنگهای منطقه..... ۱۶
- جدول ۵-۲: ابعاد مغار نیروگاه و مغار ترانسفورمر..... ۱۷
- جدول ۱-۳: مراحل پیشنهادی برای انجام یک آنالیز عددی..... ۱۹
- جدول ۱-۴: ابزار مختلف به کاررفته در رفتارسنجی..... ۳۱
- جدول ۱-۶: خصوصیات مواد احاطه کننده مغارها و باس بارها..... ۶۴
- جدول ۲-۶: خصوصیات میل مهار استفاده شده در مغار نیروگاه، مغار ترانسفورمر و باس بارها..... ۶۵
- جدول ۳-۶: خصوصیات تاندون های استفاده شده در مغار نیروگاه، مغار ترانسفورمر و باس بارها..... ۶۶
- جدول ۴-۶: مشخصات شاکریت به کار رفته در مغار نیروگاه، ترانسفورمر و باس بارها..... ۶۶
- جدول ۵-۶: میزان جابجایی های نسبی اندازه گیری شده توسط کشیدگی سنج ها در مغار نیروگاه..... ۷۰
- جدول ۶-۶: نتایج حاصل از آنالیز برگشتی در مقطع دوّم..... ۷۲
- جدول ۷-۶: نتایج حاصل از آنالیز برگشتی در مقطع سوّم..... ۷۲
- جدول ۸-۶: نتایج حاصل از آنالیز برگشتی در مقطع چهارم..... ۷۳
- جدول ۹-۶: نتایج حاصل از آنالیز برگشتی در مقطع ششم..... ۷۳
- جدول ۱-۷: مقادیر کرنش بحرانی بر اساس فرمول ساکورایی و آدنوچی..... ۷۹
- جدول ۲-۷: مقادیر کرنش شعاعی محاسبه شده در مقطع اوّل..... ۸۰
- جدول ۳-۷: مقادیر کرنش شعاعی محاسبه شده در مقطع دوّم..... ۸۰

- جدول ۷-۴: مقادیر کرنش شعاعی محاسبه شده در مقطع سوم ..... ۸۰
- جدول ۷-۵: مقادیر کرنش شعاعی محاسبه شده در مقطع چهارم ..... ۸۱
- جدول ۷-۶: مقادیر کرنش شعاعی محاسبه شده در مقطع پنجم ..... ۸۱
- جدول ۷-۷: مقادیر کرنش شعاعی محاسبه شده در مقطع ششم ..... ۸۱
- جدول ۷-۸: ضریب اطمینان برای اعماق مختلف در مقطع اول ..... ۸۲
- جدول ۷-۹: ضریب اطمینان برای اعماق مختلف در مقطع دوم ..... ۸۲
- جدول ۷-۱۰: ضریب اطمینان برای اعماق مختلف در مقطع سوم ..... ۸۳
- جدول ۷-۱۱: ضریب اطمینان برای اعماق مختلف در مقطع چهارم ..... ۸۳
- جدول ۷-۱۲: ضریب اطمینان برای اعماق مختلف در مقطع پنجم ..... ۸۳
- جدول ۷-۱۳: ضریب اطمینان برای اعماق مختلف در مقطع ششم ..... ۸۴

## فهرست اشکال

- شکل ۱-۲: موقعیت جغرافیایی پروژه سیاه بیشه ..... ۶
- شکل ۲-۲: نمایی از تونل های آب بر سد سیاه بیشه ..... ۷
- شکل ۳-۲: نمایی از مغار نیروگاه ..... ۷
- شکل ۱-۴: مراحل کار در رفتارسنجی ..... ۳۲
- شکل ۲-۴: ابزارهای دقیق متداول در فضاهای زیرزمینی ..... ۳۴
- شکل ۳-۴: مقاطع ابزار دقیق مغار نیروگاه ..... ۳۵
- شکل ۴-۴: نمونه ای از داده های حاصل از کشیدگی سنج ها ..... ۳۶
- شکل ۵-۴: مقطع همگرایی سنجی مورد استفاده در مغار نیروگاه ..... ۳۹
- شکل ۶-۴: نمودارهای حاصل از کشیدگی سنج ها در مقطع اول ..... ۴۰
- شکل ۷-۴: نمونه ای از داده های حاصل از بار سنج سیم لرزان در مغار نیروگاه ..... ۴۱
- شکل ۸-۴: داده های حاصل از پیزو متر موجود در مغار نیروگاه در مقطع اول ..... ۴۲
- شکل ۹-۴: جابجایی ایجاد شده در دیواره بالا دست مغار نیروگاه ..... ۴۴
- شکل ۱-۵: رابطه بین آنالیز معمولی و آنالیز معکوس (برگشتی) ..... ۴۹
- شکل ۲-۵: تفاوت آنالیز معمولی و برگشتی ..... ۵۰
- شکل ۳-۵: فلوچارت بهینه سازی ..... ۵۴
- شکل ۴-۵: الگوی جستجوی نقطه بهینه ..... ۵۵
- شکل ۵-۵: فلوچارت روش جستجوی تک متغیره ..... ۵۶
- شکل ۶-۵: طرح اولیه از روش جستجوی الگویی ..... ۵۷
- شکل ۱-۶: نقاط ثابت شده ..... ۶۰

- شکل ۶-۲: نمای کلی مدل ساخته شده..... ۶۱
- شکل ۶-۳: نمایی از مغار نیروگاه (رنگ آبی)، مغار ترانسفورمر (رنگ قرمز) و باس بارها (رنگ زرد)..... ۶۲
- شکل ۶-۴: مدل‌های رفتاری استفاده در مغار..... ۶۳
- شکل ۶-۵: لایه های متفاوت مدل شده: قسمت آبی (ماسه سنگ)، قسمت قرمز (شیل) و قسمت سبز (آذرین).... ۶۴
- شکل ۶-۶: میل مهار و تاندون های مدل شده..... ۶۷
- شکل ۶-۷: شاتکریت مدل شده در نرم افزار..... ۶۷
- شکل ۶-۸: محل نصب کشیدگی های استفاده شده در مغار نیروگاه نیروگاه برای آنالیز برگشتی..... ۶۸
- شکل ۶-۹: نمودار نیروهای نامتعادل قبل از حفر..... ۷۰
- شکل ۶-۱۰: نمودار نیروهای نامتعادل بعد از حفر و اعمال سیستم نگهداری..... ۷۱
- شکل ۶-۱۱: جابجایی نسبی بدست آمده در تحلیل عددی..... ۷۱
- شکل ۷-۱: نمودار تراز هشدار خطر بر حسب کرنش..... ۷۸
- شکل ۷-۲: مقادیر U و L برای یک کشیدگی سنج..... ۷۹



# فصل اوّل

## مقدمه

هم اکنون در راستای پیشرفت و گسترش نرم افزارهای قدرتمند آنالیز عددی، امکان بررسی و مطالعه سازه‌های زیرزمینی از مراحل مقدماتی تا انتهای مرحله ساخت وجود دارد. بدیهی است که این نرم افزارها، ابزارهای بسیار حساسی هستند که به شدت به داده‌های ورودی وابسته می‌باشند. از سوی دیگر، در راستای همین پیشرفت‌ها در تولید وسایل بسیار حساس ابزار دقیق نیز پیشرفت‌های مهمی بوجود آمده است که با تحلیل برگشتی داده‌های حاصل از آنها می‌توان به داده‌های ورودی قابل اعتمادتری دست یافت و با آمیزه‌ای از تحلیل‌های عددی و قضاوت‌های مهندسی به نتایج واقعی‌تری رسید. یکی از روش‌های تعیین پارامترهای برجا، استفاده از ابزار دقیق و انجام آنالیز برگشتی بر روی داده‌های حاصل از آن می‌باشد. ابزارهای دقیق متداول در فضاها و زیرزمینی، معمولاً کشیدگی سنج و متر همگرایی سنج می‌باشد که در نقاط مشخصی نصب می‌شوند. داده‌هایی که این نوع از ابزار دقیق در اختیار قرار می‌دهد، شامل ثبت جابجایی‌ها می‌باشد. با انجام آنالیز برگشتی بر اساس جابجایی‌های ثبت شده، می‌توان با دقت مناسب و صرف هزینه و زمان اندک، تنش‌های برجا و کیفیت مصالح را تعیین نمود. همچنین می‌توان پارامترهای ژئوتکنیکی را بر اساس پیشرفت عملیات حفاری به روز نمود و دقت در نتایج را تا امکان بالا برد. پر واضح است که تعیین پارامترهای ژئوتکنیکی نزدیک به واقعیت در اجرای پروژه‌های بزرگ از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است، چرا که تعیین مقادیر دقیق تنش‌های برجا و همچنین تعیین مدول الاستیسیته نقش بسیار مهمی در تعیین نوع و نحوه اجراء سیستم حفاظت موقت و دائم مغار اصلی و سایر سازه‌های وابسته خواهد داشت. همچنین تعیین جهت تنش‌های اصلی، در یافتن جهت مناسب برای حفر مغار اصلی نیروگاه، اهمیت فراوانی دارد. سایر مزایای تعیین پارامترهای ژئومکانیکی برجا از جمله مزایای اقتصادی و فنی برنامه زمان بندی طرح و ... نیازی به توضیح ندارد [۱].

در این تحقیق سعی شده است تا با استفاده از نرم افزار FLAC3D بر روی داده‌های حاصل از رفتارنگاری، آنالیز برگشتی صورت گرفته و مدول الاستیسیته (E) و نسبت تنش افقی به قائم (K) تعیین گردد. فصل اول مقدمه را تشکیل می‌دهد و در حال حاضر پیش روست. در فصل دوم، پروژه سیاه بیشه و ویژگیهای کلی طرح، در فصل سوم نرم افزار مورد استفاده و اصول یک آنالیز عددی

صحيح، در فصل چهارم روشهای مختلف آنالیز برگشتی و در فصل پنجم روش کنترل مستقیم کرنش برای تعیین پایداری مغار نیروگاه شرح داده شده است. در نهایت در فصل ششم نتیجه‌گیری و پیشنهادات ارائه شده است.

## فصل دوّم

ویژگی‌های کلی طرح سد سیاه پشه