

الله أكبر



دانشگاه گیلان

دانشکده فنی و مهندسی

گروه مهندسی معدن

پایان نامه ارائه شده جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد مکانیک سنگ

---

بررسی ویژگی‌های شاخص سنگ‌ها به روش تحلیل همبستگی  
متعارف؛ مطالعه موردی: معدن شماره یک گل گهر

---

مؤلف

محمد مختاری

استاد راهنما

دکتر سعید کریمی نسب

۱۳۸۷ / ۲ / ۱۷

مشاور صنعتی

مهندس حمید رضا محمدی

شهریور ۱۳۸۶

۹۳۸۷۰

گروه مهندسی معدن  
دانشکده فنی و مهندسی  
دانشگاه گیلان



شماره .....  
تاریخ .....  
پیوست .....



دانشگاه شهید باهنر کرمان

این پایان نامه به عنوان یکی از شرایط احراز درجه کارشناسی ارشد به

گروه مهندسی معدن

دانشکده فنی و مهندسی

دانشگاه شهید باهنر کرمان

این پایان نامه به عنوان یکی از شرایط احراز درجه کارشناسی ارشد به

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

دانشجو: محمد مختاری

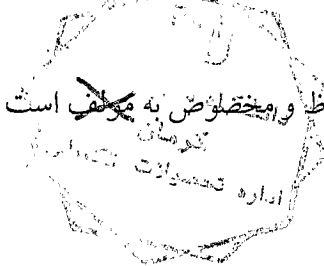
استاد ان راهنما: دکتر کریمی نسب

داور ۱: آقای دکتر جلالی فر

داور ۲: آقای دکتر رحمن نژاد

نماینده تحصیلات تکمیلی دانشکده: آقای دکتر حمید منصورری

حق چاپ محفوظ و منقول به مؤلف است



(ج)

تقدیم به پدر و مادرم  
که تقدیم تمام زندگی ام هم  
نمی تواند شکر گذار خوبی هایشان باشد...

## تقدیر و تشکر

در ابتدای کلام بر خود لازم می دانم که از تمام کسانی که در مسیر تحصیل و انجام این پروژه مرا یاری نموده اند، تشکر و قدردانی نمایم.

از پدر و مادر بزرگواریم تشکر می کنم که درس چگونه زیستن را به من آموختند. از اساتید گرانقدرم در بخش مهندسی معدن دانشگاه شهید باهنر کرمان، به خصوص جناب آقای دکتر رحمان نژاد و جناب آقای دکتر توکلی تشکر می نمایم چرا که بدیهایم را بخشیدند و بر دانسته هایم افزودند.

همچنین از جناب آقای دکتر حجت ا. رنجبر که همواره به عنوان دوستی مهربان و انسانی بزرگ و متواضع در خاطر من خواهند ماند.

از دوستان عزیزم در بخش مهندسی معدن به خاطر تمام بزرگواری ها و حمایت هایشان متشکرم. در نهایت نیز باید خالصانه ترین درودها و صمیمانه ترین قدردانی هایم را نثار جناب آقای دکتر کریمی نسب نمایم که چراغ پرنور دانش شان روشنگر راهم می باشد.

## چکیده

مقاومت فشاری تک محوری از پارامترهای اساسی در مهندسی معدن و مکانیک سنگ می باشد که کاربردهای بسیاری دارد. روش اصلی تعیین این پارامتر، آزمایش مقاومت فشاری تک محوری می باشد. هرچند روش این آزمایش ساده می باشد ولی عوامل گوناگونی بر نتایج آن تاثیر می گذارند که باعث می گردد ظرائف خاصی در انجام آن و آماده سازی نمونه های آن لحاظ گردد. همین عامل باعث وقت گیر و هزینه بر شدن این آزمایش می گردد. در نتیجه استفاده از آزمایش های شاخص گسترش یافته است. به طور کلی آزمایش های شاخص نسبت به آزمایش مقاومت فشاری تک محوری، ساده تر، سریع تر و اقتصادی تر می باشند که باعث می شود با هزینه کمتر، آزمایش های بیشتری در مدت زمان کوتاه تر انجام داد و ناهمگنی های ذاتی سنگ را پوشش داد. در این مطالعه به بررسی روابط مابین پارامترهای مقاومت فشاری تک محوری و شاخص بار نقطه ای، سرعت موج طولی، سختی اشmit، مقاومت کششی برزیلی، چگالی، تخلخل و شاخص پوکی پرداخته شده است. پس از اخذ نمونه های مورد نیاز و آماده سازی آنها، بر اساس روشهای پیشنهادی ASTM و ISRM آزمایش های لازم انجام شده و با استفاده از تحلیلهای رگرسیونی ساده و مضاعف و همچنین تحلیل همبستگی متعارف به مدل سازی روابط اقدام شده است.

فصل اول

مقدمه ای بر آزمایش های شاخص و کاربرد های آن

۱	۱-۱-۱- مقدمه
۳	۲-۱- مقاومت فشاری تک محوری و عوامل موثر بر آن
۳	۱-۲-۱- عوامل داخلی
۳	۱-۱-۲-۱- ترکیب کانی شناسی
۴	۲-۱-۲-۱- چگالی و تخلخل
۶	۳-۱-۲-۱- ابعاد و شکل دانه ها
۶	۴-۱-۲-۱- ناهمسانگردی
۷	۲-۲-۱- عوامل خارجی
۷	۱-۲-۲-۱- تاثیر سطوح انتهایی نمونه و صفحات بارگذاری
۸	۲-۲-۲-۱- تاثیر اندازه نمونه
۹	۳-۲-۲-۱- تاثیر شکل نمونه (نسبت ارتفاع به قطر)
۹	۴-۲-۲-۱- تاثیر درصد رطوبت
۹	۵-۲-۲-۱- تاثیر نوع سیال منفذی
۱۰	۶-۲-۲-۱- تاثیر درجه حرارت
۱۰	۷-۲-۲-۱- تاثیر سرعت بارگذاری
۱۰	۸-۲-۲-۱- اثر سختی ماشین آزمایش
۱۱	۳-۱- آزمایش های شاخص
۱۱	۱-۳-۱- آزمایش بار نقطه ای
۱۱	۱-۱-۳-۱- تجهیزات آزمایش
۱۳	۲-۱-۳-۱- نمونه مورد نیاز
۱۷	۳-۱-۳-۱- روابط همبستگی مقاومت فشاری تک محوری و شاخص بار نقطه ای
۲۱	۲-۳-۱- آزمایش چکش اشمیت
۲۳	۱-۲-۳-۱- اصول عملکرد چکش اشمیت
۲۳	۲-۲-۳-۱- انواع چکش اشمیت
۲۴	۳-۲-۳-۱- نرمال نمودن مقدار واجهش
۲۵	۴-۲-۳-۱- نمونه مورد نیاز
۲۵	۵-۲-۳-۱- هوازدگی و رطوبت نمونه
۲۶	۶-۲-۳-۱- تجهیزات آزمایش

- ۲۶ ۱-۳-۲-۷- جمع آوری و تقلیل داده
- ۲۷ ۱-۳-۲-۸- روابط همبستگی مقاومت فشاری تک محوری با سختی اشمیت
- ۳۰ ۱-۳-۳-۳- آزمایش سرعت موج طولی
- ۳۳ ۱-۳-۳-۱- روابط همبستگی مقاومت فشاری تک محوری و سرعت موج طولی

## فصل دوم

### روشهای تحلیل همبستگی

- ۳۵ ۲-۱-۱- تحلیل های همبستگی
- ۳۵ ۲-۱-۱-۱- مدل رگرسیون خطی ساده
- ۳۸ ۲-۱-۲- مدل رگرسیون مضاعف
- ۳۹ ۲-۱-۳- همبستگی متعارف
- ۴۲ ۲-۱-۳-۱- روش تعیین متغیر متعارف و همبستگی آنها

## فصل سوم

### مورد مطالعاتی

- ۴۴ ۳-۱- مقدمه ای بر معدن گل گهر سیرجان
- ۴۴ ۳-۱-۱- موقعیت جغرافیایی
- ۴۵ ۳-۱-۲- تاریخچه
- ۴۶ ۳-۱-۳- هواشناسی
- ۴۶ ۳-۱-۴- ژئومورفولوژی
- ۴۶ ۳-۱-۵- جایگاه ناحیه معدنی گل گهر در زمین ساخت ایران
- ۴۶ ۳-۱-۶- زمین شناسی ناحیه معدنی گل گهر و نواحی اطراف
- ۴۷ ۳-۱-۷- زمین ساخت ناحیه گل گهر
- ۴۹ ۳-۱-۸- کانی شناسی
- ۴۹ ۳-۱-۹- شکل و طبیعت ماده معدنی
- ۵۰ ۳-۱-۱۰- مشخصات کاواک نهایی معدن
- ۵۰ ۳-۲- انتخاب نمونه و آزمایش های انجام شده
- ۵۲ ۳-۲-۱- آزمایش مقاومت فشاری تک محوری
- ۵۳ ۳-۲-۲- آزمایش مقاومت کششی برزیلی
- ۵۴ ۳-۲-۳- آزمایش بار نقطه ای قطری
- ۵۵ ۳-۲-۴- آزمایش بار نقطه ای محوری
- ۵۶ ۳-۲-۵- آزمایش سرعت موج طولی
- ۵۷ ۳-۲-۶- آزمایش سختی اشمیت
- ۵۸ ۳-۲-۷- آزمایش تعیین چگالی، تخلخل و شاخص پوکی
- ۶۰ ۳-۳- آنالیز رگرسیون ساده



- ۶۰ ۱-۳-۳- تعیین پارامترهای مکانیک سنگی با استفاده از چگالی
- ۶۰ ۱-۱-۳-۳- رابطه چگالی و مقاومت فشاری تک محوری
- ۶۱ ۲-۱-۳-۳- رابطه چگالی و مقاومت کششی برزیلی
- ۶۲ ۳-۱-۳-۳- رابطه چگالی و شاخص بار نقطه ای محوری
- ۶۳ ۴-۱-۳-۳- رابطه چگالی و شاخص بار نقطه ای قطری
- ۶۴ ۵-۱-۳-۳- رابطه چگالی و سختی چکش اشمیت
- ۶۵ ۶-۱-۳-۳- رابطه چگالی و سرعت موج طولی
- ۶۶ ۷-۱-۳-۳- رابطه چگالی و تخلخل
- ۶۷ ۸-۱-۳-۳- رابطه چگالی و شاخص پوکی
- ۶۸ ۲-۳-۳- تعیین پارامترهای مکانیک سنگی با استفاده از تخلخل
- ۶۸ ۱-۲-۳-۳- رابطه تخلخل و مقاومت فشاری تک محوری
- ۶۹ ۲-۲-۳-۳- رابطه تخلخل و مقاومت کششی برزیلی
- ۷۰ ۳-۲-۳-۳- رابطه تخلخل و شاخص بار نقطه ای محوری
- ۷۱ ۴-۲-۳-۳- رابطه تخلخل و شاخص بار نقطه ای قطری
- ۷۲ ۵-۲-۳-۳- رابطه تخلخل و سختی چکش اشمیت
- ۷۳ ۶-۲-۳-۳- رابطه تخلخل و سرعت موج طولی
- ۷۴ ۶-۲-۳-۳- رابطه تخلخل و شاخص پوکی
- ۷۵ ۳-۳-۳- تعیین پارامترهای مکانیک سنگی با استفاده از شاخص پوکی
- ۷۶ ۱-۳-۳-۳- رابطه شاخص پوکی و مقاومت فشاری تک محوری
- ۷۷ ۲-۳-۳-۳- رابطه شاخص پوکی و مقاومت کششی برزیلی
- ۷۸ ۳-۳-۳-۳- رابطه شاخص پوکی و شاخص بار نقطه ای محوری
- ۷۹ ۴-۳-۳-۳- رابطه شاخص پوکی و شاخص بار نقطه ای قطری
- ۸۰ ۵-۳-۳-۳- رابطه شاخص پوکی و سختی چکش اشمیت
- ۸۱ ۶-۳-۳-۳- رابطه شاخص پوکی و سرعت موج طولی
- ۸۲ ۴-۳-۳- تعیین پارامترهای مکانیک سنگی با استفاده از شاخص بار نقطه ای محوری
- ۸۲ ۱-۴-۳-۳- رابطه شاخص بار نقطه ای محوری و مقاومت فشاری تک محوری
- ۸۳ ۲-۴-۳-۳- رابطه شاخص بار نقطه ای محوری و مقاومت کششی برزیلی
- ۸۴ ۲-۴-۳-۳- رابطه شاخص بار نقطه ای محوری و مقاومت کششی برزیلی
- ۸۵ ۴-۴-۳-۳- رابطه شاخص بار نقطه ای محوری و سختی چکش اشمیت
- ۸۶ ۵-۴-۳-۳- رابطه شاخص بار نقطه ای محوری و سرعت موج طولی
- ۸۷ ۵-۳-۳- تعیین پارامترهای مکانیک سنگی با استفاده از شاخص بار نقطه ای قطری
- ۸۷ ۱-۵-۳-۳- رابطه شاخص بار نقطه ای قطری و مقاومت فشاری تک محوری
- ۸۸ ۲-۵-۳-۳- رابطه شاخص بار نقطه ای قطری و مقاومت کششی برزیلی

۸۹	۳-۵-۳- رابطه شاخص بار نقطه ای قطری و سختی چکش اشمیت
۹۰	۳-۵-۴- رابطه شاخص بار نقطه ای قطری و سرعت موج طولی
۹۱	۳-۳-۶- تعیین پارامترهای مکانیک سنگی با استفاده از سختی چکش اشمیت
۹۱	۳-۳-۱- رابطه سختی چکش اشمیت و مقاومت فشاری تک محوری
۹۲	۳-۳-۲- رابطه سختی چکش اشمیت و مقاومت کششی برزیلی
۹۳	۳-۳-۶- رابطه سختی چکش اشمیت و سرعت موج طولی
۹۴	۳-۳-۷- تعیین پارامترهای مکانیک سنگی با استفاده از سرعت موج طولی
۹۴	۳-۳-۱- رابطه سرعت موج طولی و مقاومت فشاری تک محوری
۹۵	۳-۳-۲- رابطه سرعت موج طولی و مقاومت کششی برزیلی
۹۶	۳-۳-۸- تعیین مقاومت فشاری تک محوری با استفاده از مقاومت کششی برزیلی
۹۷	۳-۴- آنالیز رگرسیون مضاعف
۹۸	۳-۴-۱- گنایس در حالت خشک
۹۹	۳-۴-۲- گنایس در حالت اشباع
۱۰۰	۳-۴-۳- مگنتیت در حالت خشک
۱۰۱	۳-۴-۴- مگنتیت در حالت اشباع
۱۰۲	۳-۵- بررسی همبستگی متعارف
۱۰۲	۳-۵-۱- گنایس در حالت خشک
۱۰۲	۳-۵-۱-۱- گروه خواص مکانیکی کلی و خواص فیزیکی
۱۰۳	۳-۵-۱-۲- گروه خواص مکانیکی تک محوری و خواص شاخص
۱۰۴	۳-۵-۲- گنایس در حالت اشباع
۱۰۴	۳-۵-۲-۱- گروه خواص مکانیکی کلی و خواص فیزیکی
۱۰۶	۳-۵-۲-۲- گروه خواص مکانیکی تک محوری و خواص شاخص
۱۰۷	۳-۵-۳- مگنتیت در حالت خشک
۱۰۷	۳-۵-۳-۱- گروه خواص مکانیکی کلی و خواص فیزیکی
۱۰۸	۳-۵-۳-۲- گروه خواص مکانیکی تک محوری و خواص شاخص
۱۰۹	۳-۵-۴- مگنتیت در حالت اشباع
۱۰۹	۳-۵-۴-۱- گروه خواص مکانیکی کلی و خواص فیزیکی
۱۱۰	۳-۵-۴-۲- گروه خواص مکانیکی تک محوری و خواص شاخص
۱۱۱	۳-۶- نقشه ژئومکانیکی معدن
۱۱۷	<b>نتیجه گیری و پیشنهادات</b>
۱۱۹	<b>منابع و مراجع</b>

## فهرست اشکال و نمودارها

شماره و عنوان شکل	شماره صفحه
شکل ۱-۱- تاثیر ترکیب کانی شناسی بر UCS	۳
شکل ۲-۱- تاثیر تخلخل بر مقاومت فشاری تک محوری و مدول الاستیسیته	۵
شکل ۳-۱- تاثیر چگالی بر UCS	۵
شکل ۴-۱- تاثیر اندازه دانه بر UCS	۶
شکل ۵-۱- مشخصات فک دستگاه بار نقطه ای	۱۲
شکل ۶-۱- آزمایش بار نقطه ای در سه حالت پایه قطری، محوری و کلوخه ای	۱۳
شکل ۷-۱- نمودار تصحیح اندازه بروچ و فرانکلین	۱۵
شکل ۸-۱- ارتباط شاخص بار نقطه ای و UCS	۱۹
شکل ۹-۱- تاثیر تخلخل بر نسبت UCS/Is	۲۰
شکل ۱۰-۱- چکش اشمیت و اجزای آن	۲۲
شکل ۱۱-۱- ارتباط سختی اشمیت و UCS	۲۹
شکل ۱۲-۱- روشهای اندازه گیری سرعت موج	۳۱
شکل ۱۳-۱- تاثیر تخلخل بر سرعت موج طولی	۳۲
شکل ۱-۲- مدل رگرسیون خطی	۳۶
شکل ۲-۲- گسترش خطا حول خط رگرسیون	۳۶
شکل ۱-۳- موقعیت جغرافیایی معدن سنگ آهن گل گهر و سایر معادن آهن ایران	۴۵
شکل ۲-۳- موقعیت نسبی ذخایر شش گانه ناحیه گل گهر	۴۶
شکل ۳-۳- گسلهای محدوده کاواک شماره ۱	۴۸
شکل ۴-۳- دیاگرام گل سرخی امتداد گسلهای برداشت شده در دیواره های کاواک	۴۸
شکل ۵-۳- وضعیت ذخیره شماره ۱	۴۹
شکل ۶-۳- مقطعی عرضی از وضعیت زمین شناسی توده شماره ۱	۵۰
شکل ۷-۳- موقعیت کاواک و محل چاههای برداشت نمونه	۵۱
شکل ۸-۳- نمودار توزیع آماری مقاومت فشاری تک محوری گنایس خشک	۵۲
شکل ۹-۳- نمودار توزیع آماری مقاومت فشاری تک محوری گنایس اشباع	۵۲
شکل ۱۰-۳- نمودار توزیع آماری مقاومت فشاری تک محوری مگنتیت خشک	۵۳
شکل ۱۱-۳- نمودار توزیع آماری مقاومت فشاری تک محوری مگنتیت اشباع	۵۳
شکل ۱۲-۳- نمودار توزیع آماری مقاومت کششی برزیلی گنایس خشک	۵۳
شکل ۱۳-۳- نمودار توزیع آماری مقاومت کششی برزیلی گنایس اشباع	۵۳
شکل ۱۴-۳- نمودار توزیع آماری مقاومت کششی برزیلی مگنتیت خشک	۵۴
شکل ۱۵-۳- نمودار توزیع آماری مقاومت کششی برزیلی مگنتیت اشباع	۵۴

- شکل ۳-۱۶- نمودار توزیع آماری شاخص بار نقطه ای قطری گنایس خشک ۵۴
- شکل ۳-۱۷- نمودار توزیع آماری شاخص بار نقطه ای قطری گنایس اشباع ۵۴
- شکل ۳-۱۸- نمودار توزیع آماری شاخص بار نقطه ای قطری مگنتیت خشک ۵۵
- شکل ۳-۱۹- نمودار توزیع آماری شاخص بار نقطه ای قطری مگنتیت اشباع ۵۵
- شکل ۳-۲۰- نمودار توزیع آماری شاخص بار نقطه ای محوری گنایس خشک ۵۵
- شکل ۳-۲۱- نمودار توزیع آماری شاخص بار نقطه ای محوری گنایس اشباع ۵۵
- شکل ۳-۲۲- نمودار توزیع آماری شاخص بار نقطه ای محوری مگنتیت خشک ۵۶
- شکل ۳-۲۳- نمودار توزیع آماری شاخص بار نقطه ای محوری مگنتیت اشباع ۵۶
- شکل ۳-۲۴- نمودار توزیع آماری سرعت موج طولی گنایس خشک ۵۶
- شکل ۳-۲۵- نمودار توزیع آماری سرعت موج طولی گنایس اشباع ۵۶
- شکل ۳-۲۶- نمودار توزیع آماری سرعت موج طولی مگنتیت خشک ۵۷
- شکل ۳-۲۷- نمودار توزیع آماری سرعت موج طولی مگنتیت اشباع ۵۷
- شکل ۳-۲۸- نمودار توزیع آماری سختی اشمیت گنایس خشک ۵۷
- شکل ۳-۲۹- نمودار توزیع آماری سختی اشمیت گنایس اشباع ۵۷
- شکل ۳-۳۰- نمودار توزیع آماری سختی اشمیت مگنتیت خشک ۵۸
- شکل ۳-۳۱- نمودار توزیع آماری سختی اشمیت مگنتیت اشباع ۵۸
- شکل ۳-۳۲- نمودار توزیع آماری چگالی گنایس ۵۹
- شکل ۳-۳۳- نمودار توزیع آماری چگالی مگنتیت ۵۹
- شکل ۳-۳۴- نمودار توزیع آماری تخلخل گنایس ۵۹
- شکل ۳-۳۵- نمودار توزیع آماری تخلخل مگنتیت ۵۹
- شکل ۳-۳۶- نمودار توزیع آماری شاخص پوکی گنایس ۵۹
- شکل ۳-۳۷- نمودار توزیع آماری شاخص پوکی مگنتیت ۵۹
- شکل ۳-۳۸- رابطه چگالی و مقاومت فشاری تک محوری گنایس خشک ۶۰
- شکل ۳-۳۹- رابطه چگالی و مقاومت فشاری تک محوری گنایس اشباع ۶۰
- شکل ۳-۴۰- رابطه چگالی و مقاومت فشاری تک محوری مگنتیت خشک ۶۱
- شکل ۳-۴۱- رابطه چگالی و مقاومت فشاری تک محوری مگنتیت اشباع ۶۱
- شکل ۳-۴۲- رابطه چگالی و مقاومت کششی برزیلی گنایس خشک ۶۱
- شکل ۳-۴۳- رابطه چگالی و مقاومت کششی برزیلی گنایس اشباع ۶۱
- شکل ۳-۴۴- رابطه چگالی و مقاومت کششی برزیلی مگنتیت خشک ۶۲
- شکل ۳-۴۵- رابطه چگالی و مقاومت کششی برزیلی مگنتیت اشباع ۶۲
- شکل ۳-۴۶- رابطه چگالی و شاخص بار نقطه ای محوری گنایس خشک ۶۲
- شکل ۳-۴۷- رابطه چگالی و شاخص بار نقطه ای محوری گنایس اشباع ۶۲
- شکل ۳-۴۸- رابطه چگالی و شاخص بار نقطه ای محوری مگنتیت خشک ۶۳

- شکل ۳-۴۹- رابطه چگالی و شاخص بار نقطه ای محوری مگنتیت اشباع
- شکل ۳-۵۰- رابطه چگالی و شاخص بار نقطه ای قطری گنایس خشک
- شکل ۳-۵۱- رابطه چگالی و شاخص بار نقطه ای قطری گنایس اشباع
- شکل ۳-۵۲- رابطه چگالی و شاخص بار نقطه ای قطری مگنتیت خشک
- شکل ۳-۵۳- رابطه چگالی و شاخص بار نقطه ای قطری مگنتیت اشباع
- شکل ۳-۵۴- رابطه چگالی و سختی چکش اشمیت گنایس خشک
- شکل ۳-۵۵- رابطه چگالی و سختی چکش اشمیت گنایس اشباع
- شکل ۳-۵۶- رابطه چگالی و سختی چکش اشمیت مگنتیت خشک
- شکل ۳-۵۷- رابطه چگالی و سختی چکش اشمیت مگنتیت اشباع
- شکل ۳-۵۸- رابطه چگالی و سرعت موج طولی گنایس خشک
- شکل ۳-۵۹- رابطه چگالی و سرعت موج طولی گنایس اشباع
- شکل ۳-۶۰- رابطه چگالی و سرعت موج طولی مگنتیت خشک
- شکل ۳-۶۱- رابطه چگالی و سرعت موج طولی مگنتیت اشباع
- شکل ۳-۶۲- رابطه چگالی و تخلخل گنایس خشک
- شکل ۳-۶۳- رابطه چگالی و تخلخل گنایس اشباع
- شکل ۳-۶۴- رابطه چگالی و تخلخل مگنتیت خشک
- شکل ۳-۶۵- رابطه چگالی و تخلخل مگنتیت اشباع
- شکل ۳-۶۶- رابطه چگالی و شاخص پوکی گنایس خشک
- شکل ۳-۶۷- رابطه چگالی و شاخص پوکی گنایس اشباع
- شکل ۳-۶۸- رابطه چگالی و شاخص پوکی مگنتیت خشک
- شکل ۳-۶۹- رابطه چگالی و شاخص پوکی مگنتیت اشباع
- شکل ۳-۷۰- رابطه تخلخل و مقاومت فشاری تک محوری گنایس خشک
- شکل ۳-۷۱- رابطه تخلخل و مقاومت فشاری تک محوری گنایس اشباع
- شکل ۳-۷۲- رابطه تخلخل و مقاومت فشاری تک محوری مگنتیت خشک
- شکل ۳-۷۳- رابطه تخلخل و مقاومت فشاری تک محوری مگنتیت اشباع
- شکل ۳-۷۴- رابطه تخلخل و مقاومت کششی برزیلی گنایس خشک
- شکل ۳-۷۵- رابطه تخلخل و مقاومت کششی برزیلی گنایس اشباع
- شکل ۳-۷۶- رابطه تخلخل و مقاومت کششی برزیلی مگنتیت خشک
- شکل ۳-۷۷- رابطه تخلخل و مقاومت کششی برزیلی مگنتیت اشباع
- شکل ۳-۷۸- رابطه تخلخل و شاخص بار نقطه ای محوری گنایس خشک
- شکل ۳-۷۹- رابطه تخلخل و شاخص بار نقطه ای محوری گنایس اشباع
- شکل ۳-۸۰- رابطه تخلخل و شاخص بار نقطه ای محوری مگنتیت خشک
- شکل ۳-۸۱- رابطه تخلخل و شاخص بار نقطه ای محوری مگنتیت اشباع

- شکل ۳-۸۲- رابطه تخلخل و شاخص بار نقطه ای قطری گنایس خشک ۷۲
- شکل ۳-۸۳- رابطه تخلخل و شاخص بار نقطه ای قطری گنایس اشباع ۷۲
- شکل ۳-۸۴- رابطه تخلخل و شاخص بار نقطه ای قطری مگنتیت خشک ۷۲
- شکل ۳-۸۵- رابطه تخلخل و شاخص بار نقطه ای قطری مگنتیت اشباع ۷۲
- شکل ۳-۸۶- رابطه تخلخل و سختی چکش اشمیت گنایس خشک ۷۳
- شکل ۳-۸۷- رابطه تخلخل و سختی چکش اشمیت گنایس اشباع ۷۳
- شکل ۳-۸۸- رابطه تخلخل و سختی چکش اشمیت مگنتیت خشک ۷۳
- شکل ۳-۸۹- رابطه تخلخل و سختی چکش اشمیت مگنتیت اشباع ۷۳
- شکل ۳-۹۰- رابطه تخلخل و سرعت موج طولی گنایس خشک ۷۴
- شکل ۳-۹۱- رابطه تخلخل و سرعت موج طولی گنایس اشباع ۷۴
- شکل ۳-۹۲- رابطه تخلخل و سرعت موج طولی مگنتیت خشک ۷۴
- شکل ۳-۹۳- رابطه تخلخل و سرعت موج طولی مگنتیت اشباع ۷۴
- شکل ۳-۹۴- رابطه تخلخل و شاخص پوکی گنایس خشک ۷۵
- شکل ۳-۹۵- رابطه تخلخل و شاخص پوکی گنایس اشباع ۷۵
- شکل ۳-۹۶- رابطه تخلخل و شاخص پوکی مگنتیت خشک ۷۵
- شکل ۳-۹۷- رابطه تخلخل و شاخص پوکی مگنتیت اشباع ۷۵
- شکل ۳-۹۸- رابطه شاخص پوکی و مقاومت فشاری تک محوری گنایس خشک ۷۶
- شکل ۳-۹۹- رابطه شاخص پوکی و مقاومت فشاری تک محوری گنایس اشباع ۷۶
- شکل ۳-۱۰۰- رابطه شاخص پوکی و مقاومت فشاری تک محوری مگنتیت خشک ۷۶
- شکل ۳-۱۰۱- رابطه شاخص پوکی و مقاومت فشاری تک محوری مگنتیت اشباع ۷۶
- شکل ۳-۱۰۲- رابطه شاخص پوکی و مقاومت کششی برزیلی گنایس خشک ۷۷
- شکل ۳-۱۰۳- رابطه شاخص پوکی و مقاومت کششی برزیلی گنایس اشباع ۷۷
- شکل ۳-۱۰۴- رابطه شاخص پوکی و مقاومت کششی برزیلی مگنتیت خشک ۷۷
- شکل ۳-۱۰۵- رابطه شاخص پوکی و مقاومت کششی برزیلی مگنتیت اشباع ۷۷
- شکل ۳-۱۰۶- رابطه شاخص پوکی و شاخص بار نقطه ای محوری گنایس خشک ۷۸
- شکل ۳-۱۰۷- رابطه شاخص پوکی و شاخص بار نقطه ای محوری گنایس اشباع ۷۸
- شکل ۳-۱۰۸- رابطه شاخص پوکی و شاخص بار نقطه ای محوری مگنتیت خشک ۷۸
- شکل ۳-۱۰۹- رابطه شاخص پوکی و شاخص بار نقطه ای محوری مگنتیت اشباع ۷۸
- شکل ۳-۱۱۰- رابطه شاخص پوکی و شاخص بار نقطه ای قطری گنایس خشک ۷۹
- شکل ۳-۱۱۱- رابطه شاخص پوکی و شاخص بار نقطه ای قطری گنایس اشباع ۷۹
- شکل ۳-۱۱۲- رابطه شاخص پوکی و شاخص بار نقطه ای قطری مگنتیت خشک ۷۹
- شکل ۳-۱۱۳- رابطه شاخص پوکی و شاخص بار نقطه ای قطری مگنتیت اشباع ۷۹
- شکل ۳-۱۱۴- رابطه شاخص پوکی و سختی چکش اشمیت گنایس خشک ۸۰

- شکل ۳-۱۱۵- رابطه شاخص پوکی و سختی چکش اشमित گنایس اشباع ۸۰
- شکل ۳-۱۱۶- رابطه شاخص پوکی و سختی چکش اشमित مگنتیت خشک ۸۰
- شکل ۳-۱۱۷- رابطه شاخص پوکی و سختی چکش اشमित مگنتیت اشباع ۸۰
- شکل ۳-۱۱۸- رابطه شاخص پوکی و سرعت موج طولی گنایس خشک ۸۱
- شکل ۳-۱۱۹- رابطه شاخص پوکی و سرعت موج طولی گنایس اشباع ۸۱
- شکل ۳-۱۲۰- رابطه شاخص پوکی و سرعت موج طولی مگنتیت خشک ۸۱
- شکل ۳-۱۲۱- رابطه شاخص پوکی و سرعت موج طولی مگنتیت اشباع ۸۱
- شکل ۳-۱۲۲- رابطه شاخص بار نقطه ای محوری و مقاومت فشاری تک محوری گنایس خشک ۸۲
- شکل ۳-۱۲۳- رابطه شاخص بار نقطه ای محوری و مقاومت فشاری تک محوری گنایس اشباع ۸۲
- شکل ۳-۱۲۴- رابطه شاخص بار نقطه ای محوری و مقاومت فشاری تک محوری مگنتیت خشک ۸۲
- شکل ۳-۱۲۵- رابطه شاخص بار نقطه ای محوری و مقاومت فشاری تک محوری مگنتیت اشباع ۸۲
- شکل ۳-۱۲۶- رابطه شاخص بار نقطه ای محوری و مقاومت کششی برزیلی گنایس خشک ۸۳
- شکل ۳-۱۲۷- رابطه شاخص بار نقطه ای محوری و مقاومت کششی برزیلی گنایس اشباع ۸۳
- شکل ۳-۱۲۸- رابطه شاخص بار نقطه ای محوری و مقاومت کششی برزیلی مگنتیت خشک ۸۳
- شکل ۳-۱۲۹- رابطه شاخص بار نقطه ای محوری و مقاومت کششی برزیلی مگنتیت اشباع ۸۳
- شکل ۳-۱۳۰- رابطه شاخص بار نقطه ای محوری و شاخص بار نقطه ای قطری گنایس خشک ۸۴
- شکل ۳-۱۳۱- رابطه شاخص بار نقطه ای محوری و شاخص بار نقطه ای قطری گنایس اشباع ۸۴
- شکل ۳-۱۳۲- رابطه شاخص بار نقطه ای محوری و شاخص بار نقطه ای قطری مگنتیت خشک ۸۴
- شکل ۳-۱۳۳- رابطه شاخص بار نقطه ای محوری و شاخص بار نقطه ای قطری مگنتیت اشباع ۸۴
- شکل ۳-۱۳۴- رابطه شاخص بار نقطه ای محوری و سختی چکش اشमित گنایس خشک ۸۵
- شکل ۳-۱۳۵- رابطه شاخص بار نقطه ای محوری و سختی چکش اشमित گنایس اشباع ۸۵
- شکل ۳-۱۳۶- رابطه شاخص بار نقطه ای محوری و سختی چکش اشमित مگنتیت خشک ۸۵
- شکل ۳-۱۳۷- رابطه شاخص بار نقطه ای محوری و سختی چکش اشमित مگنتیت اشباع ۸۵
- شکل ۳-۱۳۸- رابطه شاخص بار نقطه ای محوری و سرعت موج طولی گنایس خشک ۸۶
- شکل ۳-۱۳۹- رابطه شاخص بار نقطه ای محوری و سرعت موج طولی گنایس اشباع ۸۶
- شکل ۳-۱۴۰- رابطه شاخص بار نقطه ای محوری و سرعت موج طولی مگنتیت خشک ۸۶
- شکل ۳-۱۴۱- رابطه شاخص بار نقطه ای محوری و سرعت موج طولی مگنتیت اشباع ۸۶
- شکل ۳-۱۴۲- رابطه شاخص بار نقطه ای قطری و مقاومت فشاری تک محوری گنایس خشک ۸۷
- شکل ۳-۱۴۳- رابطه شاخص بار نقطه ای قطری و مقاومت فشاری تک محوری گنایس اشباع ۸۷
- شکل ۳-۱۴۴- رابطه شاخص بار نقطه ای قطری و مقاومت فشاری تک محوری مگنتیت خشک ۸۷
- شکل ۳-۱۴۵- رابطه شاخص بار نقطه ای قطری و مقاومت فشاری تک محوری مگنتیت اشباع ۸۷
- شکل ۳-۱۴۶- رابطه شاخص بار نقطه ای قطری و مقاومت کششی برزیلی گنایس خشک ۸۸
- شکل ۳-۱۴۷- رابطه شاخص بار نقطه ای قطری و مقاومت کششی برزیلی گنایس اشباع ۸۸

- شکل ۳-۱۴۸- رابطه شاخص بار نقطه ای قطری و مقاومت کششی برزیلی مگنتیت خشک ۸۸
- شکل ۳-۱۴۹- رابطه شاخص بار نقطه ای قطری و مقاومت کششی برزیلی مگنتیت اشباع ۸۸
- شکل ۳-۱۵۰- رابطه شاخص بار نقطه ای قطری و سختی چکش اشمیت گنایس خشک ۸۹
- شکل ۳-۱۵۱- رابطه شاخص بار نقطه ای قطری و سختی چکش اشمیت گنایس اشباع ۸۹
- شکل ۳-۱۵۲- رابطه شاخص بار نقطه ای قطری و سختی چکش اشمیت مگنتیت خشک ۸۹
- شکل ۳-۱۵۳- رابطه شاخص بار نقطه ای قطری و سختی چکش اشمیت مگنتیت اشباع ۸۹
- شکل ۳-۱۵۴- رابطه شاخص بار نقطه ای قطری و سرعت موج طولی گنایس خشک ۹۰
- شکل ۳-۱۵۵- رابطه شاخص بار نقطه ای قطری و سرعت موج طولی گنایس اشباع ۹۰
- شکل ۳-۱۵۶- رابطه شاخص بار نقطه ای قطری و سرعت موج طولی مگنتیت خشک ۹۰
- شکل ۳-۱۵۷- رابطه شاخص بار نقطه ای قطری و سرعت موج طولی مگنتیت اشباع ۹۰
- شکل ۳-۱۵۸- رابطه سختی چکش اشمیت و مقاومت فشاری تک محوری گنایس خشک ۹۱
- شکل ۳-۱۵۹- رابطه سختی چکش اشمیت و مقاومت فشاری تک محوری گنایس اشباع ۹۱
- شکل ۳-۱۶۰- رابطه سختی چکش اشمیت و مقاومت فشاری تک محوری مگنتیت خشک ۹۲
- شکل ۳-۱۶۱- رابطه سختی چکش اشمیت و مقاومت فشاری تک محوری مگنتیت اشباع ۹۲
- شکل ۳-۱۶۲- رابطه سختی چکش اشمیت و مقاومت کششی برزیلی گنایس خشک ۹۲
- شکل ۳-۱۶۳- رابطه سختی چکش اشمیت و مقاومت کششی برزیلی گنایس اشباع ۹۲
- شکل ۳-۱۶۴- رابطه سختی چکش اشمیت و مقاومت کششی برزیلی مگنتیت خشک ۹۳
- شکل ۳-۱۶۵- رابطه سختی چکش اشمیت و مقاومت کششی برزیلی مگنتیت اشباع ۹۳
- شکل ۳-۱۶۶- رابطه سختی چکش اشمیت و سرعت موج طولی گنایس خشک ۹۳
- شکل ۳-۱۶۷- رابطه سختی چکش اشمیت و سرعت موج طولی گنایس اشباع ۹۳
- شکل ۳-۱۶۸- رابطه سختی چکش اشمیت و سرعت موج طولی مگنتیت خشک ۹۴
- شکل ۳-۱۶۹- رابطه سختی چکش اشمیت و سرعت موج طولی مگنتیت اشباع ۹۴
- شکل ۳-۱۷۰- رابطه سرعت موج طولی و مقاومت فشاری تک محوری گنایس خشک ۹۵
- شکل ۳-۱۷۱- رابطه سرعت موج طولی و مقاومت فشاری تک محوری گنایس اشباع ۹۵
- شکل ۳-۱۷۲- رابطه سرعت موج طولی و مقاومت فشاری تک محوری مگنتیت خشک ۹۵
- شکل ۳-۱۷۳- رابطه سرعت موج طولی و مقاومت فشاری تک محوری مگنتیت اشباع ۹۵
- شکل ۳-۱۷۴- رابطه سرعت موج طولی و مقاومت کششی برزیلی گنایس خشک ۹۶
- شکل ۳-۱۷۵- رابطه سرعت موج طولی و مقاومت کششی برزیلی گنایس اشباع ۹۶
- شکل ۳-۱۷۶- رابطه سرعت موج طولی و مقاومت کششی برزیلی مگنتیت خشک ۹۶
- شکل ۳-۱۷۷- رابطه سرعت موج طولی و مقاومت کششی برزیلی مگنتیت اشباع ۹۶
- شکل ۳-۱۷۸- رابطه مقاومت کششی برزیلی و مقاومت فشاری تک محوری گنایس خشک ۹۷
- شکل ۳-۱۷۹- رابطه مقاومت کششی برزیلی و مقاومت فشاری تک محوری گنایس اشباع ۹۷
- شکل ۳-۱۸۰- رابطه مقاومت کششی برزیلی و مقاومت فشاری تک محوری مگنتیت خشک ۹۷



- شکل ۳-۱۸۱- رابطه مقاومت کششی برزیلی و مقاومت فشاری تک محوری مگنتیت اشباع
- شکل ۳-۱۸۲- نقشه ژئومکانیکی شاخص بار نقطه ای خشک معدن سنگ آهن گل گهر
- شکل ۳-۱۸۳- نقشه ژئومکانیکی شاخص بار نقطه ای اشباع معدن سنگ آهن گل گهر
- شکل ۳-۱۸۴- نقشه ژئومکانیکی شاخص چگالی معدن سنگ آهن گل گهر
- شکل ۳-۱۸۵- نقشه ژئومکانیکی تخلخل معدن سنگ آهن گل گهر
- شکل ۳-۱۸۶- نقشه ژئومکانیکی شاخص پوکی معدن سنگ آهن گل گهر

## فهرست جداول

شماره و عنوان جدول	شماره صفحه
جدول ۱-۱- تصحیح نتایج بار نقطه ای بر اساس شکل و نوع نمونه	۱۶
جدول ۱-۲- فاکتور تبدیل اندیس به مقاومت در مراجع مختلف	۱۸
جدول ۱-۳- معادلات همبستگی مقاومت فشاری تک محوری و اندیس بار نقطه ای	۲۰
جدول ۱-۴- همبستگی مقاومت فشاری تک محوری، مدول یانگ و سختی اشمیت	۳۰
جدول ۱-۳- خلاصه نتایج آزمایش مقاومت فشاری تک محوری	۵۲
جدول ۲-۳- خلاصه نتایج آزمایش مقاومت کششی برزیلی	۵۳
جدول ۳-۳- خلاصه نتایج آزمایش بار نقطه ای قطری	۵۴
جدول ۳-۴- خلاصه نتایج آزمایش بار نقطه ای محوری	۵۵
جدول ۳-۵- خلاصه نتایج آزمایش سرعت موج طولی	۵۶
جدول ۳-۶- خلاصه نتایج آزمایش سختی اشمیت	۵۷
جدول ۳-۷- خلاصه نتایج تعیین چگالی، تخلخل و شاخص پوکی	۵۸
جدول ۳-۸- خلاصه مدل برای متغیر مقاومت فشاری تک محوری گنایس خشک	۹۸
جدول ۳-۹- ANOVA برای متغیر مقاومت فشاری تک محوری گنایس خشک	۹۸
جدول ۳-۱۰- خلاصه ضرایب پارامترهای مدل گنایس خشک و پارامترهای موثر بر آن	۹۸
جدول ۳-۱۱- خلاصه مدل برای متغیر مقاومت فشاری تک محوری گنایس اشباع	۹۹
جدول ۳-۱۲- ANOVA برای متغیر مقاومت فشاری تک محوری گنایس اشباع	۹۹
جدول ۳-۱۳- خلاصه ضرایب پارامترهای مدل گنایس اشباع و پارامترهای موثر بر آن	۹۹
جدول ۳-۱۴- خلاصه مدل برای متغیر مقاومت فشاری تک محوری مگنتیت خشک	۱۰۰
جدول ۳-۱۵- ANOVA برای متغیر مقاومت فشاری تک محوری مگنتیت خشک	۱۰۰
جدول ۳-۱۶- خلاصه ضرایب پارامترهای مدل مگنتیت خشک و پارامترهای موثر بر آن	۱۰۰
جدول ۳-۱۷- خلاصه مدل برای متغیر مقاومت فشاری تک محوری مگنتیت اشباع	۱۰۱
جدول ۳-۱۸- ANOVA برای متغیر مقاومت فشاری تک محوری مگنتیت اشباع	۱۰۱
جدول ۳-۱۹- خلاصه ضرایب پارامترهای مدل مگنتیت اشباع و پارامترهای موثر بر آن	۱۰۱

## فهرست علائم

علامت	پارامتر
$\sigma_c$	مقاومت فشاری تک محوری
T	مقاومت کششی
$I_{s(d)}$	شاخص بار نقطه ای قطری
$I_{s(a)}$	شاخص بار نقطه ای محوری
$R_n$	سختی اشمیت
$V_p$	سرعت موج طولی
D	چگالی
n	تخلخل
$I_v$	شاخص پوکی
$\gamma_d$	وزن واحد خشک
E	مدول الاستیسیته
QFR	نسبت کوارتز به فلدسپار
$Q_s$	اندازه دانه کوارتز
$k_s$	ضریب شکل
$k_b$	ضریب شکنندگی
$e_i$	خطای پیش بینی
$b_i$	ضریب مدل
R	ضریب همبستگی
$\bar{R}$	ضریب همبستگی تعدیل یافته
m	تعداد رویداد لحاظ شده در مدل
k	تعداد پارامترهای مدل
Cov	کواریانس
Var	واریانس
Corr	همبستگی
U,V	متغیرهای متعارف
$\rho^*$	مقادیر ویژه
$\alpha$	اهمیت

## فصل اول

### مقدمه ای بر آزمایش های شاخص و کاربرد های آن

#### ۱-۱- مقدمه

همانطور که بیناوویسکی<sup>۱</sup> اشاره نموده است، یکی از پارامترهای حیاتی مکانیک سنگ در مهندسی معدن، تعیین مقاومت فشاری تک محوری سنگها می باشد [۱]. مقاومت فشاری تک محوری یا نامحصور<sup>۲</sup> (UCS) مرسوم ترین پارامتر در مطالعات مکانیک سنگ می باشد و در اکثر پروژه های مهندسی انجام می پذیرد و به ندرت اتفاق می افتد که در پروژه ای مقاومت فشاری تک محوری مورد نیاز نباشد. مقاومت فشاری تک محوری کاربرد های وسیع در حل مسائل عملی مکانیک سنگ پیدا نموده است که برخی از این کاربردها به شرح زیر می باشد:

- ۱) برآورد یا پیش بینی زمان وقوع گسیختگی در اثر فشار یا برش در اطراف فضاهای زیرزمینی
- ۲) ارزیابی مقاومت پایه های سنگی در معادن زیرزمینی
- ۳) تخمین مقاومت فشاری سه محوری با استفاده از معیار های گسیختگی هوک و براون
- ۴) تعیین مدول های اساسی سنگ جهت پیش بینی میزان تغییر شکل یا نشست در نقاط مختلف
- ۵) تعیین ظرفیت مجاز باربری و مقاومت برشی جانبی پی های عمیق (شمع ها)
- ۶) تعیین نوع و مشخصات دستگاه حفاری
- ۷) تعیین مشخصات عملیات آتشکاری

---

<sup>۱</sup> Bieniawski

<sup>۲</sup> Unconfined Compressive Strength