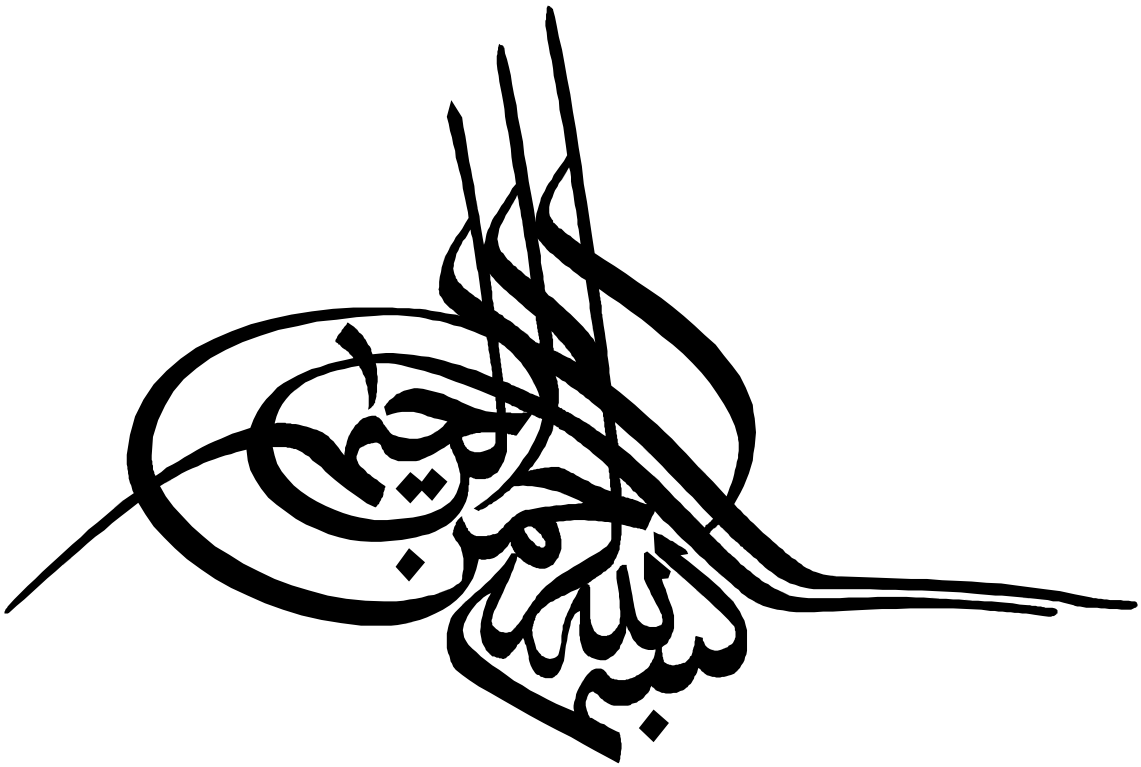
بسم الله الرحمن الرحيم

دانشکده علوم پایه

پایان نامه دوره کارشناسی ارشد زمین شناسی(مهندسی)

عنوان پایان نامه:

ارزیابی شاخص‌های مقاومتی نمونه‌هایی از سنگها با استفاده از دستگاه پانچ و مقایسه آن با روشهای آزمایش دیگر

دانشجو:

ابراهیم جعفری

استاد راهنما:

دکتر محمد رضا نیکودل

استاد مشاور:

دکتر مرتضی احمدی

آذر ۱۳۸۷

تقدیم به شهدای گمنام

تشکر و قدردانی:

سپاس بی حد خداوندگار دانا را سزاست که نهایت رحمت است بر بندگانش.

در ابتدا از حسن همکاری دولت جمهوری اسلامی ایران در فراهم نمودن شرایط تحصیل برای هموطنانم که در این مرز و بوم از بد حادثه به پناه آمده‌اند تشکر و قدردانی می‌نمایم.

همچنین از زحمات تمامی اساتید و معلمانی که در تعلیم و تذهیب و تربیت اینجانب کمال قدردانی را می‌نمایم. بی شک اساتید بزرگوار گروه زمین شناسی مهندسی دانشگاه تربیت مدرس در رسیدن به این مرحله از اهمیت خاصی برخوردار بوده است. قدردانی از زحمات و پیگیری‌ها و حمایت‌های صبورانه و صمیمانه استاد محترم راهنما جناب آقای دکتر محمدرضا نیکودل کاری است بس دشوار که در قالب کلمات معدود و مجال محدود این چند خط نمی‌گنجد. ازجناب آقای دکتر مرتضی احمدی که خلق نیکو و ذهن خلاقش در ادامه راه تحقیق راهگشا بود و نظرات سازنده‌اش چراغ راه، نیز کمال امتنان را دارم.

در پایان از بزرگواری تشکر می‌کنم که هر چه دارم از اوست و ثمره از خودگذشتگی‌ها و همت بلندش هست هر آنچه که هست؛ مادرم که هم مادر بود و هم پدر.

چکیده

مقاومت فشاری تک محوری یکی از پارامترهای مهم در مهندسی سنگ می‌باشد که در اکثر پروژه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. به دلیل هزینه‌بر و وقت‌گیر بودن و همچنین مشکلات زیاد تهیه نمونه برای انجام آزمایش تعیین مستقیم مقاومت فشاری تک‌محوری، امروزه تحقیقات بر روی استفاده از روشهای غیر مستقیم برای تخمین میزان این پارامتر متمرکز شده است. استفاده از نتایج آزمایش پانچ یکی از جدیدترین این روشها می‌باشد. در این تحقیق به همراه انجام آزمایشهای تعیین مقاومت فشاری تک محوری، شاخص پانچ بلوکی، شاخص بار نقطه‌ای، سرعت عبور موج فشاری، مقاومت کششی و خصوصیات فیزیکی بر روی ۶۳ نوع سنگ مختلف، برای اولین بار از آزمایش پانچ استوانه‌ای نیز استفاده گردید. با استفاده از آنالیز نتایج به دست آمده از آزمایشات سعی شد بهترین روشها برای تخمین غیر مستقیم مقاومت فشاری تک محوری مشخص گردد. این بررسی به دو صورت کلی و مجزا در سه گروه سنگی انجام شد. میزان دقت روش پیشنهادی سال ۲۰۰۸ در خصوص استفاده از آزمایش پانچ بلوکی نیز مورد بررسی قرار گرفت. این مقایسه حاکی از رضایت بخش بودن نتایج بدست آمده از این تحقیق می‌باشد.

کلمات کلیدی: روش غیر مستقیم تخمین مقاومت فشاری تک محوری، شاخص پانچ بلوکی، شاخص پانچ استوانه‌ای، شاخص بار نقطه‌ای

فهرست مطالب

صفحه

فهرست شکلها ..... ج
فهرست جداول ..... د
فهرست نمودارها ..... ه
فصل اول- کلیات ۱
۱-۱-مقدمه ۲
۱-۲-کلیات و اهداف تحقیق ۴
۱-۳- ترتیب فصول پایان نامه ۴
فصل دوم- مروری برمطالعات گذشته ۶
۲-۱-آزمایشات معمول برای تخمین غیرمستقیم مقاومت فشاری تک محوره سنگ بکر ۷
۲-۱-۱- عدد چکش اشمیت ۷
۲-۱-۲- آزمایش شاخص بار نقطه ای ۸
۲-۱-۳- آزمایش تعیین سرعت صوت ۹
۲-۱-۴- تخلخل ۱۱
۲-۱-۵- چگالی ۱۱
۲-۱-۶- مقاومت کششی ۱۲
۲-۱-۷- سایر آزمایشات ۱۲
۲-۲- آزمایش پانچ و مروری بر مطالعات انجام شده در گذشته بر روی آن ۱۳
۲-۲-۱- تاریخچه ۱۳
فصل سوم- شرح آزمایشات و نتایج به دست آمده ۲۴
۳-۱- مقدمه ۲۵
۳-۲- دسته بندی و توصیف سنگهای مورد آزمایش ۲۷
۳-۳- آزمایشات انجام شده ۲۸
۳-۳-۱- تعیین خصوصیات فیزیکی ۲۸
۳-۳-۲- آزمایش تعیین مقاومت فشاری تک محوره و مدول الاستیسیته ۲۹
۳-۳-۳- آزمایش تعیین سرعت عبور موج فشاری ۳۲
۳-۳-۴- آزمایش تعیین شاخص بار نقطه ای ۳۳
۳-۴- آزمایش پانچ ۳۴
۳-۴-۱- آزمایش پانچ بلوکی ۳۵
۳-۴-۱-۱- مشخصات ابزار مورد استفاده ۳۵
۳-۴-۱-۲- روش انجام آزمایش و مشاهدات این تحقیق ۳۸

۳-۴-۲- آزمایش پانچ استوانه ای ۴۴
۳-۴-۲-۱- مشخصات ابزار مورد استفاده ۴۴
۳-۴-۲-۲- روش انجام آزمایش و مشاهدات این تحقیق ۴۷
۳-۵- نتایج آزمایشات ۴۸
فصل چهارم- تجزیه و تحلیل اطلاعات ۵۲
۴-۲-بررسی ارتباط کلی بین پارامترهای به دست آمده ۵۴
۴-۲-۱- بررسی ارتباط کلی بین تخلخل و چگالی سنگ با سایر پارامترها ۵۴
۴-۲-۲- بررسی ارتباط کلی سرعت عبور موج فشاری با سایر پارامترها ۵۶
۴-۲-۳- بررسی ارتباط کلی شاخص بار نقطه ای با سایر پارامترها ۵۸
۴-۲-۴- بررسی ارتباط کلی مقاومت کششی با سایر پارامترها ۵۹
۴-۲-۵- ارتباط کلی شاخص پانچ بلوکی و سایر پارامترهای شاخص سنگ ۶۰
۴-۲-۶- رابطه کلی شاخص پانچ استوانه ای و سایر پارامترهای شاخص سنگ ۶۲
۴-۲-۶- رابطه کلی مقاومت فشاری تک محوری و مدول الاستیسیته ۶۳
۴-۲-۷- مقایسه روشهای مختلف تخمین غیرمستقیم مقاومت فشاری تک محوری و مدول الاستیسیته سنگ ۶۴
۴-۳- بررسی روابط بین پارامترهای مختلف و مقاومت فشاری تک محوری با تفکیک گروه های مختلف سنگی ۶۵
۴-۳-۱- روابط مربوط به گروه سنگهای آذرین (گروه ۱) ۶۵
۴-۳-۱- روابط مربوط به گروه سنگهای رسوبی تخریبی (گروه ۲) ۶۷
۴-۳-۱- روابط مربوط به گروه سنگهای رسوبی شیمیایی (گروه ۳) ۶۸
۴-۳- برآورد مقاومت فشاری تک محوری با استفاده از آخرین فرمول پیشنهادی در ارتباط با شاخص پانچ بلوکی ۶۹
فصل پنجم- نتیجه گیری و پیشنهادات ۷۰
۵-۱- نتیجه گیری ۷۱
۵-۱-۱- نتایج اصلی تحقیق ۷۱
۵-۱-۲- نتایج جنبی تحقیق ۷۲
۵-۲- پیشنهادات ۷۲
فهرست منابع و مراجع ۷۴
پیوست الف- سایر نمودارهای رسم شده برای تعیین روابط بین پارامترهای مختلف سنگ در حالت کلی ۷۶
پیوست ب- سایر نمودارهای رسم شده برای تعیین روابط بین پارامترهای مختلف سنگ در گروه های مجزا ۸۶

فهرست شکلها

شکل ۲-۱- ابزارهای پانچ مورد استفاده توسط: *مزنتی و سورز* (الف)، *وتوکوری* و همکاران (ب) و *استیسی* (ج) ۱۳
شکل ۲-۲- تغییرات مقاومت برشی مستقیم بدست آمده بر اثر تغییر زاویه بین راستای پانچ و لایه بندی؛ *استیسی* ۱۹۸۰ ..... ۱۵
شکل ۲-۳- شکل شماتیک دستگاه ساخته شده در دانشگاه *دلفت* ۱۶
شکل ۲-۴- شمایی از نیمرخ دستگاه ساخته شده توسط *پاپاس و هسلی* ۱۹۹۰ ..... ۱۷
شکل ۲-۵- دستگاه ساخته شده در دانشگاه *حاجه‌تپه* ترکیه ۱۸
شکل ۲-۶- ارتباط بین شاخص پانچ بلوکی اصلاح شده (BPI_c) و مقاومت برشی در حالت بدون تنش قائم (C_{HB}) ۲۰
شکل ۲-۷- در صورت استفاده از BPI_c برای تعیین UCS و C_{HB} مقدار اصطکاک داخلی با تغییرات مقاومتی تغییری نشان نمی‌دهد ۲۱
شکل ۲-۸- با ثابت بودن مقدار C_{HB}، دو پارامتر UCS و m_i با تغیر یکدیگر تغییر پیدا می‌کنند ۲۱
شکل ۳-۱- دستگاه مغزه‌گیر مورد استفاده در تهیه مغزه‌های استوانه‌ای ۲۵
شکل ۳-۲- دستگاه برش با تیغه دوار مورد استفاده در تهیه نمونه از مغزه‌های موجود ۲۶
شکل ۳-۳- دستگاه ساب دوار مورد استفاده برای صاف کردن سطح مقطع نمونه‌ها ۲۶
شکل ۳-۴- نمایی از نمونه استوانه‌ای درون دستگاه بارگذاری تک محوری ۳۰
شکل ۳-۵- شکل کلی منحنی تنش-کرنش سنگها و روشهای محاسبه مدول یانگ؛ مدول میانگین بخش خطی منحنی (الف)، مدول مماسی اندازه‌گیری شده در ۵۰ درصد مقاومت نهایی (ب)، مدول متقاطع در یک درصد مشخص از مقاومت نهایی ۳۱
شکل ۳-۶- تصویر شکستگی ایجاد شده در تعدادی از نمونه‌های مورد آزمایش ۳۱
شکل ۳-۷- شمای کلی از ابزار اندازه‌گیری سرعت موج مورد استفاده ۳۲
شکل ۳-۸- نحوه قرارگیری نمونه در دستگاه بار نقطه‌ای در روش بارگذاری طولی ۳۳
شکل ۳-۹- شمای کلی از دستگاه پانچ بلوکی مورد استفاده در این تحقیق ۳۵
شکل ۳-۱۰- نمای شامل جزییات بیشتر دستگاه پانچ بلوکی؛ قسمت بالایی یا بلوک پانچ کننده (الف)، یک نمای کلی از بخش نگهدارنده پایینی قبل از بستن گیره‌های نمونه (ب)، قسمت بالایی و پایینی دستگاه در حالت قرارگیری بر روی یکدیگر(ج)؛ شکل شماتیک کانال پانچ شدن بلوک طراحی شده در بخش نگهدارنده پایینی ۳۶
شکل ۳-۱۱- شکل شماتیک و ابعاد قسمت پانچ کننده بالایی دستگاه مورد استفاده ۳۷
شکل ۳-۱۲- شکل شماتیک نحوه پانچ شدن نمونه در داخل دستگاه ۳۹
شکل ۳-۱۳- انواع شکستگی‌های قابل مشاهده در نمونه‌ها بعد از انجام آزمایش و معیار قبول یا رد نتایج آزمایشات در کارهای انجام شده در گذشته ۴۰
شکل ۳-۱۴- نحوه تعیین رابطه محاسبه مساحت سطوح برش در نمونه آزمایش شده توسط دستگاه پانچ بلوکی ۴۱
شکل ۳-۱۵- تصویر ابزار آزمایش پانچ استوانه‌ای جایگذاری شده در دستگاه CBR ۴۳
شکل ۳-۱۶- قسمتهای مختلف دستگاه پانچ استوانه‌ای؛ نمای بدنه و درپوش از بالا (الف)، نمای سه بعدی در پوش و بدنه (ب)، دستگاه وقتی درپوش در سرجای خود قرار گرفته است (ج) و اجزای جانبی مورد استفاده (د) ۴۵

شکل ۳-۱۷- تصویری از نمونه‌های شکسته شده توسط دستگاه پانچ استوانه‌ای ۴۷

فهرست جداول

جدول ۲-۱- روابط پیشنهاد شده بین UCS (MPa) و عدد بازگشت چکش Rn ۷
جدول ۲-۲- روابط پیشنهادی بین UCS و شاخص بار نقطه‌ای $I_{s(50)}$، هر دو پارامتر برحسب مگاپاسکال ۹
جدول ۲-۳- روابط ارائه شده توسط محققین مختلف بین سرعت موج فشاری و مقاومت تک محوری ۱۰
جدول ۲-۴- مقادیر پیشنهادی m_i برای سنگهای مختلف توسط هوک (۲۰۰۶) ۲۳
جدول ۳-۱- دسته بندی انواع مختلف سنگ مورد استفاده در این تحقیق و تعداد و نوع سنگهای هر دسته ۲۷
جدول ۳-۲- نتایج آزمایشاتی که برروی همه انواع موجود سنگ انجام پذیرفته است ۴۸
جدول ۳-۳- مدول الاستیسیته به دست آمده برای ۴۸ نمونه سنگ ۴۹
جدول ۳-۴- مقاومت کششی به دست آمده برای ۳۱ نمونه سنگ ۵۰
جدول ۳-۵- شاخص پانچ استوانه‌ای به دست آمده برای ۲۴ نمونه سنگ ۵۰
جدول ۴-۱- روابط به دست آمده بین چگالی و تخلخل سنگ با سایر پارامترهای به دست آمده ۵۳
جدول ۴-۲- روابط به دست آمده بین مقدار سرعت عبور موج فشاری و سایر پارامترهای اندازه‌گیری شده در سنگها ۵۵
جدول ۴-۳- روابط به دست آمده بین شاخص بار نقطه‌ای و سایر پارامترهای شاخص سنگهای مورد آزمایش ۵۷
جدول ۴-۴- روابط به دست آمده بین مقاومت کششی و سایر پارامترهای شاخص سنگ ۵۸
جدول ۴-۵- روابط به دست آمده بین شاخص پانچ بلوکی و سایر پارامترهای شاخص سنگ ۵۹
جدول ۴-۶- روابط به دست آمده بین شاخص پانچ استوانه‌ای و سایر پارامترهای سنگ ۶۱
جدول ۴-۷- روابط به دست آمده از روشهای مختلف برای تخمین مقاومت فشاری تک محوری و مدول الاستیسیته ۶۲
جدول ۴-۸- روابط موجود برای پارامترهای شاخص گروه سنگهای آذرین (گروه ۱) ۶۳
جدول ۴-۹- روابط مربوط به پارامترهای شاخص سنگهای گروه رسوبی تخریبی (گروه ۲) ۶۵
جدول ۴-۱۰- روابط موجود برای پارامترهای شاخص سنگهای گروه ۳ (رسوبی شیمیایی) ۶۶

فهرست نمودارها

نمودار ۴-۱- رابطه بین چگالی خشک و درصد تخلخل سنگ ۵۴
نمودار ۴-۲- ارتباط میان مقادیر تخلخل به دست آمده و مقاومت فشاری تک محوری سنگ ۵۴
نمودار ۴-۳- ارتباط میان مقادیر چگالی خشک و مقاومت فشاری تک محوری سنگ ۵۵
نمودار ۴-۴- ارتباط بین سرعت سیر موج فشاری و ضریب الاستیسیته سنگ ۵۶
نمودار ۴-۵- ارتباط بین سرعت عبور موج فشاری و شاخص پانچ بلوکی سنگ ۵۶
نمودار ۴-۶- ارتباط بین سرعت عبور موج فشاری و مقاومت کششی سنگ ۵۶
نمودار ۴-۷- ارتباط بین شاخص بار نقطه‌ای و مقاومت فشاری تک محوری ۵۷
نمودار ۴-۸- ارتباط مقاومت کششی و مقاومت فشاری تک محوری سنگ ۵۸
نمودار۴-۹- ارتباط شاخص پانچ بلوکی سنگ و مقاومت فشاری تک محوری سنگ ۵۹
نمودار ۴-۱۰- ارتباط بین نتایج دو نوع آزمایش پانچ ۶۰
نمودار ۴-۱۱- ارتباط شاخص پانچ استوانه‌ای و مقاومت فشاری تک محوره ۶۱
نمودار ۴-۱۲- ارتباط بین مدول الاستیسیته و مقاومت فشاری تک محوری ۶۲
نمودار ۴-۱۳- ارتباط شاخص پانچ بلوکی و مقاومت فشاری تک محوره در سنگهای آذرین ۶۴
نمودار ۴-۱۴- ارتباط شاخص پانچ استوانه‌ای (سه عدد) با مقاومت فشاری تک محوره در سنگهای آذرین ۶۴
نمودار ۴-۱۵- ارتباط شاخص بار نقطه‌ای و مقاومت فشاری تک محوره در سنگهای رسوبی تخریبی ۶۵
نمودار ۴-۱۶- ارتباط شاخص پانچ بلوکی و مقاومت فشاری تک محوری در سنگهای گروه ۳ ..... ۶۶
نمودار ۴-۱۷- ارتباط بین مقادیر تخمین زده شده UCS با استفاده از رابطه سال ۲۰۰۸ و مقادیر حاصل از آزمایشات..... ۶۷
نمودار الف-۱- ارتباط تخلخل و مدول الاستیسیته ۷۵
نمودار الف-۲- ارتباط تخلخل و شاخص بار نقطه‌ای ۷۵
نمودار الف-۳- ارتباط تخلخل و سرعت عبور موج فشاری ۷۵
نمودار الف-۴- ارتباط تخلخل و مقاومت کششی سنگ..... ۷۶
نمودار الف-۵- ارتباط تخلخل و شاخص پانچ بلوکی..... ۷۶
نمودار الف-۶- ارتباط تخلخل و شاخص پانچ استوانه‌ای..... ۷۶
نمودار الف-۷- ارتباط چگالی خشک و مقاومت فشاری تک محوری..... ۷۷
نمودار الف-۸- ارتباط چگالی خشک و مدول الاستیسیته..... ۷۷
نمودار الف-۹- ارتباط چگالی خشک و شاخص بار نقطه‌ای..... ۷۷
نمودار الف-۱۰- ارتباط چگالی خشک و سرعت عبور موج فشاری..... ۷۸
نمودار الف-۱۱- ارتباط چگالی خشک و مقاومت کششی ۷۸

نمودار الف-۱۲- ارتباط چگالی خشک و شاخص پانچ بلوکی..... ۷۸
نمودار الف-۱۳- ارتباط چگالی خشک و شاخص پانچ استوانه‌ای..... ۷۹
نمودار الف-۱۴- ارتباط سرعت عبور موج فشاری و مقاومت فشاری تک محوری..... ۷۹
نمودار الف-۱۵- ارتباط سرعت عبور موج فشاری و شاخص پانچ استوانه‌ای..... ۷۹
نمودار الف-۱۶- ارتباط سرعت عبور موج فشاری و شاخص بار نقطه‌ای..... ۸۰
نمودار الف-۱۷- ارتباط شاخص بار نقطه‌ای و مدول الاستیسیته..... ۸۰
نمودار الف-۱۸- ارتباط شاخص بار نقطه‌ای و مقاومت کششی..... ۸۰
نمودار الف-۱۹- ارتباط شاخص بار نقطه‌ای و شاخص پانچ بلوکی..... ۸۱
نمودار الف-۲۰- ارتباط شاخص بار نقطه‌ای و شاخص پانچ استوانه‌ای..... ۸۱
نمودار الف-۲۱- ارتباط مقاومت کششی و مدول شاخص پانچ استوانه‌ای..... ۸۱
نمودار الف-۲۲- ارتباط مقاومت کششی و شاخص پانچ بلوکی..... ۸۲
نمودار الف-۲۳- ارتباط مقاومت کششی و شاخص پانچ استوانه‌ای..... ۸۲
نمودار الف-۲۴- ارتباط مقاومت کششی و مقاومت فشاری تک محوری..... ۸۲
نمودار الف-۲۵- ارتباط شاخص پانچ بلوکی و مدول الاستیسیته..... ۸۳
نمودار الف-۲۶- ارتباط شاخص پانچ استوانه‌ای و مدول الاستیسیته..... ۸۳
نمودار الف-۲۷- ارتباط شاخص پانچ استوانه‌ای و شاخص پانچ بلوکی..... ۸۳
ب-۱- ارتباط تخلخل و چگالی خشک در گروه ۱..... ۸۵
ب-۲- ارتباط شاخص بار نقطه‌ای و پانچ بلوکی در گروه ۱ ..... ۸۵
ب-۳- ارتباط شاخص بار نقطه‌ای و مقاومت فشاری تک محوری در گروه ۱..... ۸۶
ب-۴- ارتباط شاخص بار نقطه‌ای و مدول الاستیسیته در گروه ۱..... ۸۶
ب-۵- ارتباط شاخص پانچ بلوکی و مدول الاستیسیته در گروه ۱..... ۸۶
ب-۶- ارتباط شاخص پانچ بلوکی و مقاومت فشاری تک محوری در گروه ۱..... ۸۷
ب-۷- ارتباط چگالی خشک و مقاومت فشاری تک محوری در گروه ۱..... ۸۷
ب-۸- ارتباط تخلخل و مقاومت فشاری تک محوری در گروه ۱..... ۸۷
ب-۹- ارتباط سرعت موج فشاری و مقاومت فشاری تک محوری در گروه ۱..... ۸۸
ب-۱۰- ارتباط شاخص پانچ استوانه‌ای و مقاومت فشاری تک محوری در گروه ۱..... ۸۸
ب-۱۱- ارتباط شاخص پانچ بلوکی و مقاومت فشاری تک محوری در گروه ۱..... ۸۸
ب-۱۲- ارتباط شاخص بارنقطه‌ای و مقاومت فشاری تک محوری در گروه ۱..... ۸۹
ب-۱۳- ارتباط مدول الاستیسیته و مقاومت فشاری تک محوری در گروه ۱..... ۸۹
ب-۱۴- ارتباط مدول الاستیسیته و مقاومت فشاری تک محوری در گروه ۲..... ۸۹
ب-۱۵- ارتباط چگالی خشک و مقاومت فشاری تک محوری در گروه ۲..... ۹۰

ب-۱۶- ارتباط تخلخل و مقاومت فشاری تک محوری در گروه ۲..... ۹۰
ب-۱۷- ارتباط سرعت عبور موج و مقاومت فشاری تک محوری در گروه ۲..... ۹۰
ب-۱۸- ارتباط شاخص پانچ استوانه‌ای و مقاومت فشاری تک محوری در گروه ۲.....۹۱
ب-۱۹- ارتباط مقاومت کششی و مقاومت فشاری تک محوری در گروه ۲..... ۹۱
ب-۲۰- ارتباط پانچ بلوکی و مقاومت فشاری تک محوری در گروه ۲.....۹۱
ب-۲۱- ارتباط شاخص بار نقطه‌ای و مقاومت فشاری تک محوری در گروه ۲.....۹۲
ب-۲۲- ارتباط تخلخل و چگالی خشک در گروه ۲.....۹۲
ب-۲۳- ارتباط مدول الاستیسیته و مقاومت فشاری تک محوری در گروه ۳.....۹۲
ب-۲۴- ارتباط چگالی خشک و مقاومت فشاری تک محوری در گروه ۳.....۹۳
ب-۲۵- ارتباط تخلخل و مقاومت فشاری تک محوری در گروه ۳.....۹۳
ب-۲۶- ارتباط سرعت عبور موج فشاری و مقاومت فشاری تک محوری در گروه ۳.....۹۳
ب-۲۷- ارتباط شاخص پانچ استوانه‌ای و مقاومت فشاری تک محوری در گروه ۳.....۹۴
ب-۲۸- ارتباط شاخص بار نقطه‌ای و مقاومت فشاری تک محوری در گروه ۳.....۹۴
ب-۲۹- ارتباط تخلخل و چگالی خشک در گروه ۳.....۹۴

فصل اول- کلیات

۱-۱-مقدمه

مکانیک سنگ علمی است که در آن به مطالعه پایداری بستر یا توده سنگ در هنگام و بعد از احداث سازه بر و یا در آن پرداخته می‌شود. یکی از مهمترین بخشهای این مطالعه به بررسی ویژگیهای سنگ بکر در مقیاس آزمایشگاهی اختصاص دارد. اساسی‌ترین این ویژگیها، پارامترهای مقاومتی سنگ بکر می‌باشد.

از متداول‌ترین روشهای ارزیابی شاخص‌های مقاومتی سنگ می‌توان از آزمایشاتی همچون:

تعیین سختی سنگ توسط چکش اشمیت، اندازه‌گیری مقاومت فشاری تک‌محوری، تعیین شاخص بار نقطه‌ای، برش مستقیم سنگ، کشش مستقیم، کشش غیر مستقیم (برزیلی)، آزمون خمش و آزمایش فشار سه محوری نام برد [۳].

آزمون تعیین مقاومت فشاری تک محوری (UCS)[۱] یکی از مهم‌ترین آزمایشاتی است که به طور ویژه‌ای در اکثر طراحی‌های مهندسی در موارد مختلف انجام می‌شود. از جمله کاربردهای نتایج این آزمایش می‌توان به موارد ذیل اشاره کرد:

- تعیین میزان و زمان وقوع خرابی بر اثر نیروهای ایجاد شده در سنگهای احاطه کننده فضاهای زیرزمینی
- ارزیابی میزان تغییر شکل یا نشست در نقاط مختلف سازه‌های مرتبط با سنگ
- طراحی و ارزیابی مقاومت نهایی پی‌های سنگی
- استفاده در معیارهای شکست سنگ

[۱] Uniaxial Compressive Strength

- استفاده در رده‌بندی توده سنگ به روشهای متداول
- تعیین نوع و مشخصات دستگاه حفاری
- تعیین نوع و نتایج عملیات آتشباری در سنگها[۲]

با توجه به اهمیت و کاربرد فراوان آزمایش مقاومت فشاری تک محوری، فرایند انجام این آزمایش هم توسط انجمن بین‌المللی مکانیک سنگ (ISRM)[۱] و هم توسط انجمن استاندارد آزمایش و مواد آمریکا (ASTM)[۲] به صورت استاندارد معرفی شده است. انجام این آزمایش برخلاف سادگی فهم و درک منطق آن نسبتاً گرانقیمت و مستلزم صرف دقت و وقت زیاد می‌باشد. یکی از مهمترین محدودیتهایی که انجام این آزمایش با آن روبروست موانع و سختی‌های تهیه نمونه مناسب برای انجام این آزمایش می‌باشد. برای تهیه نمونه‌های مناسب و مطابق با شرایط ذکر شده در استانداردهای انجام این آزمایش، در اختیار داشتن مغزه‌های با کیفیت بالا الزامی است تا بتوان از آن نمونه‌های با نسبت طول به قطر مورد نظر (۲/۵-۲) را به دست آورد. تهیه مغزه با کیفیت مورد نیاز از برخی سنگها کاری بسیار دشوار و در برخی موارد ؛ بخصوص در سنگهای سست یا دارای شکستگی یا سطوح ضعف زیاد مثل سنگهای متورق یا دارای لایه بندی ریز غیر ممکن است [۲۱].

به همین دلیل محققان بسیاری در طول سالیان اخیر تلاش نموده‌اند با استفاده از نتایج آزمایشات دیگر و روابط تجربی که بر اساس تحقیقات انجام شده به دست آمده به صورت غیر مستقیم پارامترهای حاصل از انجام این آزمایش را تخمین بزنند.

از جدیدترین آزمایشاتی که در روش تعیین غیر مستقیم مقاومت تک محوری سنگ استفاده شده است می‌توان آزمایش پانچ را برشمرد که به تازگی بصورت استاندارد توسط انجمن بین المللی مکانیک سنگ (ISRM) پیشنهاد شده است.

آزمایش پانچ به دلیل سادگی در تهیه نمونه و کوچک بودن نمونه مورد نیاز که امکان تهیه آن از مغزه‌های ناقص یا کوتاه نیز وجود دارد و همچنین به دلیل دقت نسبتاً خوبی که در تخمین

---

[۱] International Society for Rock Mechanics

[۲] American Society for Testing and Materials

غیرمستقیم مقاومت فشاری تک محوری داراست به تازگی در تحقیقات انجام شده بر روی سنگها جایگاه خوبی پیدا کرده است [۱۹].

۱-۲-کلیات و اهداف تحقیق

در این تحقیق با بررسی مطالعات گذشته و انجام آزمایشات مختلف مانند آزمون مقاومت فشاری تک محوری، تعیین خصوصیات فیزیکی سنگ، تعیین سرعت موج فشاری، شاخص بار نقطه‌ای، شاخص بلوک پانچ و همچنین یک نوع پانچ دیگر به صورت استوانه‌ای که برای اولین بار مورد استفاده قرار گرفته است؛ پارامترهای مقاومتی حدود شصت و سه نوع سنگ مختلف تعیین گردیده و پس از تحلیل نتایج به دست آمده روابط هر یک از پارامترها با سایر پارامترها مورد بررسی قرار گرفت. در نهایت از بین روشهای مختلف، آنهایی که بهترین برازش و همبستگی را با نتایج آزمون مقاومت فشاری تک محوری داشته‌اند معرفی شده‌اند.

یکی از نکاتی که پژوهش حاضر، در راستای آن طرح ریزی شده است، آشنایی هر چه بیشتر و کاملتر با آزمایش پانچ سنگ و مشکلات و محدودیتهای احتمالی آن می‌باشد چرا که تمام تحقیقاتی که تا به حال بر روی آزمایش پانچ سنگ انجام شده بیشتر توسط محققین کشور ترکیه صورت پذیرفته است.

به دست آوردن ارتباطات بین نتایج آزمایشات مختلف به طور مثال بین شاخص پانچ و مقاومت فشاری تک محوری که مهمترین آنها می‌باشد بر اساس ویژگی‌های سنگهای موجود نیز از دیگر اهداف این تحقیق می‌باشد.

معرفی آزمایش پانچ استوانه‌ای به عنوان یک آزمایش شاخص تعیین مقاومت سنگ و میزان کارایی آن در تخمین مقدار مقاومت فشاری سنگ نیز نکته دیگری است که این تحقیق آن را دنبال می‌کند.

۱-۳- ترتیب فصول پایان نامه

این تحقیق در پنج فصل نگاشته شده که در فصل اول آن یا فصل حاضر به ارائه کلیاتی در مورد ضرورت انجام تحقیق و اهدافی که در آن پی‌گیری می‌گردد پرداخته شده است.

فصل دوم به مطالعه و مرور تحقیقات قبلی و نتایج آنها در مورد هر یک از آزمایشات انجام گرفته در این تحقیق اختصاص داده شده است که در این میان به علت اهمیت و محوری بودن آزمایش پانچ سنگ، این مرور منابع و مطالعات گذشته به صورت مفصل‌تری انجام گرفته است.

در فصل سوم تحقیق ابزارها و روشهای مختلف آزمایش معرفی گردیده و در انتهای آن، نتایج به دست آمده از همه آزمایشات انجام شده به صورت یکجا ارائه شده است.

فصل چهارم این تحقیق شامل تجزیه و تحلیل اطلاعات به دست آمده از آزمون‌های انجام شده و مقایسه آنها با یکدیگر و در صورت امکان مقایسه با برخی از مطالعات انجام شده در گذشته می‌باشد.

در فصل پنجم سعی شده است که نتایج به دست آمده از این تحقیق به صورت کاملا ملموس و دسته‌بندی شده در اختیار خواننده قرار گیرد و در نهایت براساس جمع‌بندی نتایج حاصل از این تحقیق یک سری پیشنهادات برای پی‌گیری و رعایت در پژوهشها و فعالیتهای علمی و عملی آینده ارائه گردد.

فصل دوم- مروری برمطالعات گذشته

۲-۱-آزمایشات معمول برای تخمین غیرمستقیم مقاومت فشاری تک محـــوره سنگ بکر

در این بخش شرح و تاریخچه مختصری از برخی آزمایـشات معمـول بـرای تخمـین غیـر مـستقیم مقاومت فشاری تک محوری سنگ ارائه خواهد شد.

۲-۱-۱- عدد چکش اشمیت[۱]

از چکش اشمیت بیشتر برای تخمین مقاومـت فـشاری برجـای سـنگ و مخـصوصا تعیـین میـزان سختی و مقاومت سطوح درزه و لایه بندی استفاده می‌گردد. در بسیاری از مطالعات همبستگی خیلـی خوبی بین نتایج آن با مقاومت فشاری تک محوری دیـده نمـی‌شـود ولـی بـه عنـوان آزمایـشی دارای سهولت انجام و قابلیت حمل دستگاه آزمایش و غیرمخرب و ارزانتر بودن نسبت به سایر روشـها و گـاه به عنوان تنها داده موجود در مطالعات مورد استفاده قرار می‌گیرد.

محققین بسیاری در حین مطالعات خود روابـط تجربـی مختلفـی را بـرای تخمـین غیـر مـستقیم مقاومت فشاری تک محوری (UCS) از نتایج حاصل از استفاده از چکـش اشـمیت ارائـه داده‌انـد کـه در جدول ۲-۱ به تعدادی از مهمترین و پرکاربردترین روابط اشاره گردیده است.

---

[۱] Schmidt Hammer Rebound Number

جدول ۲-۱- روابط پیشنهاد شده بین UCS (MPa) و عدد بازگشت چکش Rn [۶ و ۲۴]

مرجع ارائه	سال	رابطه ارائه شده
Deer & miller	۱۹۶۶	$UCS = 6.9 \times 10^{[0.16 \times 0.0087 (Rn.\rho)]}$
Singh et. al	۱۹۸۳	UCS=2Rn
Kaharaman	۱۹۹۶	$UCS = 0.00045 \times (Rn.\rho)^{2.46}$
Gokceoglu	۱۹۹۶	$UCS = 0.0001 \times Rn^{3.27}$
Fener	۲۰۰۵	$UCS = 4.24e^{0.059\,Rn}$
Aydin & Basu 1-Granit 2-other rocks	۲۰۰۵	$UCS = 1.45e^{(0.07\,Rn)}$ $UCS = 0.92e^{(0.7\,Rn)}$

۲-۱-۲- آزمایش شاخص بار نقطه‌ای[۱]

آزمایش بار نقطه‌ای یکی از روشهای متداول برای تعیین اندیس مقاومتی سنگ است که بتوان بر پایه آن مقاومت کششی یا فشارشی سنگ را تخمین زد. این روش به دلیل سادگی در انجام آزمایش، نداشتن محدودیت در شکل نمونه، کوچک بودن نسبی نمونه‌ها و بالاخره قابلیت انجام آن در محل پروژه توجه بسیاری از محققین را به خود جلب کرده است.

نتایج به دست آمده معمولا همبستگی خوبی با مقاومت فشاری تک محوره سنگ از خود نشان می‌دهد که محققین زیادی تا به حال این ارتباط را به صورت روابط تجربی مختلفی پیشنهاد کرده‌اند.(جدول ۲-۲)

اعدادی که محققین در فرمول‌های آورده شده در جدول ۲-۲ به عنوان شاخص بار نقطه‌ای قرار داده‌اند همگی اعداد تصحیح شده بر اساس قطر ۵۰ میلیمتر می‌باشند. این تصحیح از آنجا صورت می‌گیرد که نتایج آزمون بار نقطه‌ای تا حد بسیار زیادی وابسته به ابعاد نمونه می‌باشد.

[۱] Point Load Index