

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ





دانشکده علوم پایه

عنوان:

ویژگی های زمین شناسی مهندسی میگماتیت های کمپلکس تخت سلیمان، غرب

زنجان، با تاکید بر آزمایش پیش

استاد راهنما:

دکتر سید داود محمدی

استاد مشاور:

دکتر بهمن ساعدی

ارائه دهنده:

نیلوفر نجاره



<p>فصل ۷ نتیجه گیری و پیشنهادها</p>	<p>فصل ۶ تحلیل نتایج</p>	<p>فصل ۵ آزمایش پیچش</p>	<p>فصل ۴ آزمون‌های آزمایشگاهی</p>	<p>فصل ۳ میگماتیت‌ها</p>	<p>فصل ۲ زمین شناسی منطقه</p>	<p>فصل ۱ کلیات</p>
<p>نتیجه گیری</p> <p>پیشنهادها</p>	<p>آزمون پیچش و رابطه آن با زاویه پیچش</p> <p>آزمون پیچش و ارتباط آن با شاخص‌های فیزیکی</p> <p>آزمون پیچش و ارتباط آن با شاخص‌های مکانیکی</p>	<p>پیچش</p> <p>آزمون پیچش</p> <p>نحوه انجام آزمایش</p>	<p>نمونه برداری</p> <p>آماده سازی نمونه‌ها</p> <p>بررسی سنگ‌شناسی میگماتیت‌ها</p> <p>خصوصیات فیزیکی</p> <p>خصوصیات مکانیکی</p>	<p>توصیف میگماتیت‌ها</p> <p>تشکیل میگماتیت</p> <p>ناحیه‌های سنگ میگماتیت</p> <p>رده بندی میگماتیت‌ها</p> <p>جایگاه تکوین و توسعه میگماتیت‌ها</p>	<p>زمین شناسی منطقه</p> <p>سنگ شناسی منطقه</p>	<p>مقدمه</p> <p>موقعیت جغرافیایی</p> <p>مراحل انجام پژوهش</p> <p>سابقه انجام پژوهش</p>

فصل اول: کلیات

❖ مقدمه

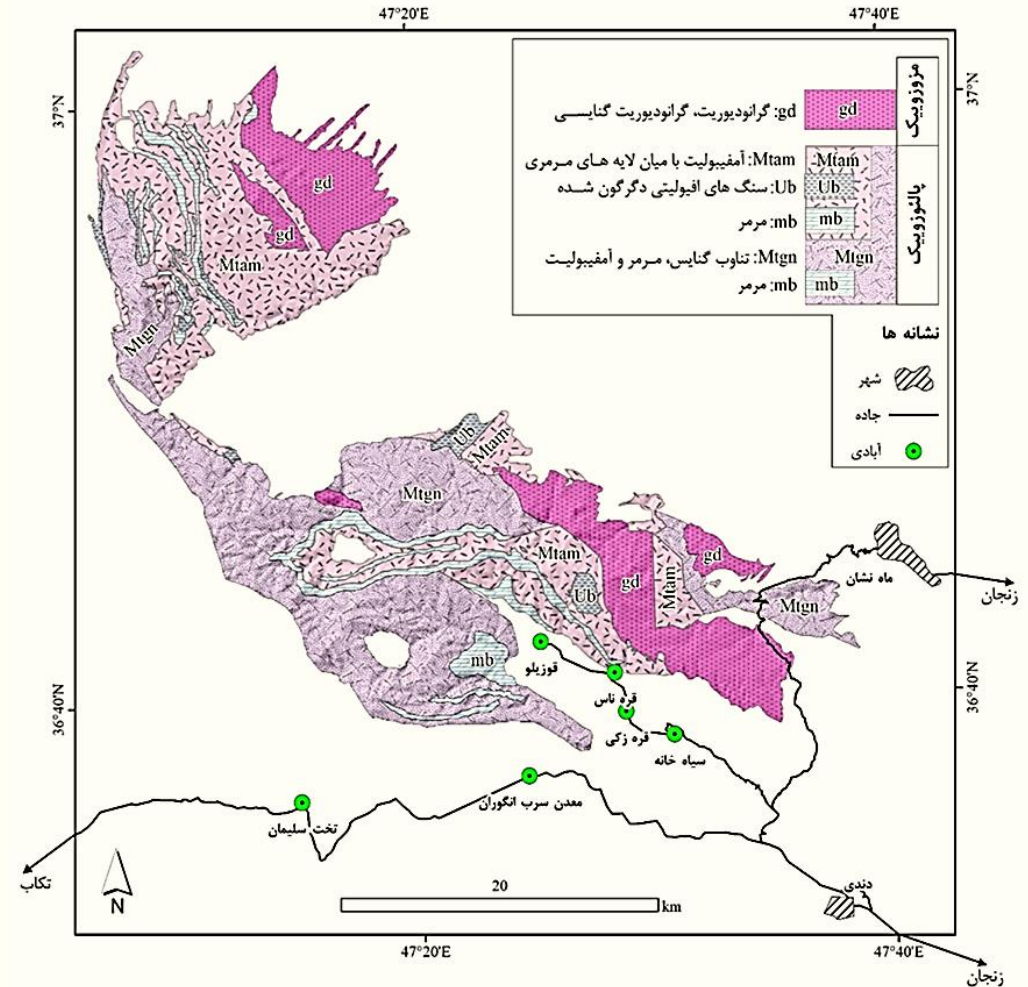
همواره شناخت سنگ‌هایی با رفتار مهندسی پیچیده در احداث سازه‌های مهندسی حائز اهمیت بوده است. از جمله این سنگ‌ها می‌توان به میگماتیت که حدواسط سنگ‌های آذرین و دگرگونی می‌باشد، اشاره نمود. وجود ناهمگنی به عنوان ویژگی بارز ظاهری در میگماتیت است که موجب می‌شود که در جهات مختلف رفتار مهندسی سنگ متفاوت باشد. به دلیل گسترش اندک در سطح زمین و پیچیدگی بافت و ساختار میگماتیت‌ها، مطالعات زمین‌شناسی مهندسی جامعی بر روی میگماتیت‌ها انجام نگرفته است.

آزمایش مقاومت فشاری تک محوری، آزمایش متداولی است که برای تعیین مقاومت فشاری تک محوری سنگ‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. این آزمایش بنابر استاندارد جهانی به دلیل هزینه و زمان بالا و دشواری در بسیاری از موارد **مقرون به صرفه** نمی‌باشد. از این رو در کشورهای مختلف آزمایش‌های دیگری جایگزین و استاندارد گردیده است. از جمله این آزمایش‌ها می‌توان به آزمایش‌های چکش اشمیت، شاخص بارنقطه‌ای و **پیچش** اشاره نمود که در این میان آزمایش پیچش برای سنگ‌ها کمتر مورد استفاده قرار گرفته است. در حوزه مکانیک جامدات، **پیچ خوردن** یک جسم بر اثر اعمال نیروی گشتاور، پیچش نام دارد. برای به دست آوردن **مقاومت پیچشی** بتن و سنگ‌های مختلف از دستگاهی به نام **ترکمتر** می‌توان استفاده نمود.

❖ موقعیت جغرافیایی منطقه و مسیرهای دسترسی به آن

میگماتیت‌های منطقه، در شمال گسل قوزلو - قره‌ناس و اطراف روستای قره‌ناس بیرونزدگی دارند. مختصات جغرافیایی محل نمونه برداری بلوک‌های T1 تا T7، در عرض شمالی $36^{\circ}40'40''$ تا $36^{\circ}43'00''$ و طول شمالی $47^{\circ}27'00''$ تا $47^{\circ}29'30''$ است. این ایستگاه از لحاظ تقسیمات کشوری، در استان زنجان قرار دارد و جاده آسفalte دندی - سیاه‌خانه، دسترسی به این منطقه را میسر می‌کند.

شکل ۲: تعدادی از واحدهای سنگی کمپلکس تخت سلیمان شامل دگرگونی‌های درجه بالا و توده‌های گرانیتوئیدی و راه دسترسی به منطقه نمونه-برداری



❖ مراحل انجام پژوهش

این مطالعه در سه مرحله انجام گرفته است؛ که شامل: ۱- بررسی‌های **کتابخانه‌ای** ۲- نمونه برداری **صحرایی** ۳- آزمون‌های آزمایشگاهی است.

– بررسی‌های کتابخانه‌ای

این مرحله شامل جمع‌آوری اطلاعات از مقالات، پایان‌نامه‌ها، گزارشات، دستورالعمل‌ها، استانداردها و سایر منابع مرتبط با میگماتیت‌ها و آزمون پیچش در ایران و جهان و استخراج نکات مفید آنها می‌باشد.

- نمونه برداری صحرائی

در این مرحله طی بازدیدهای صحرائی از میگماتیت‌های **کمپلکس تخت سلیمان**، نمونه برداری بلوکی از نقاط مناسب انجام گرفت.

- آزمون‌های آزمایشگاهی

بعد از تهیه نمونه‌های مناسب از بلوک‌های سنگی، آزمایش‌های **مکانیک سنگ** و **پیچش** جهت بررسی خصوصیات فیزیکی و مکانیکی سنگ میگماتیت انجام گرفت. از جمله آزمایش‌های انجام شده در این مرحله می‌توان به آزمایش تعیین سختی اشمیت، آزمایش تعیین سرعت صوت، آزمایش بارنقطه‌ای و آزمایش تعیین خصوصیات فیزیکی اشاره نمود.

❖ سابقه انجام پژوهش

جدول ۲: پژوهش‌های صورت گرفته در زمینه میگماتیت‌ها

یافته‌ها	هدف	نویسنده
کارایی پیش‌بینی مدل‌های سیستم استنتاج فازی (FIS) بیش از مدل‌های رگرسیون چندگانه (MR) است	پیش‌بینی مقاومت فشاری تک‌محوری و مدول الاستیک میگماتیت‌ها	ساعدی و همکاران (۲۰۱۹)
وجود همبستگی نسبتاً ضعیف میان ویژگی‌های مهندسی میگماتیت و خصوصیات ریزساختاری آن	تاثیر بافت، ساخت و فابریک بر رفتار مهندسی میگماتیت‌ها	ساعدی (۱۳۹۸)
تخلخل و ترکیب کانی‌شناسی بر رفتار مکانیکی میگماتیت‌ها موثر است	ارزیابی رابطه میان ویژگی‌های مکانیکی، پتروگرافی و پتروفیزیکی میگماتیت	پاپالاردو و همکاران (۱۳۹۲)
اختلاف ضریب انبساط کانی‌های تشکیل‌دهنده نسبت به تغییرات دما از جمله دلایل تشکیل این نوع هوازدگی می‌باشد	بررسی اشکال تافونی و عوامل موثر بر تشکیل آن‌ها	محمدی و کتابی (۱۳۹۲)

جدول ۳: پژوهش‌های صورت گرفته در زمینه آزمون پیچش

نویسنده	هدف	یافته
محمدی و همکاران (۲۰۲۲)	ارزیابی خواص مهندسی سنگ آهک با استفاده از آزمون پیچش	بهترین رابطه مقدار انتقال اصطکاک و زاویه پیچش با تخلخل از میان ویژگی‌های فیزیکی و مقاومت کشش برزیلی از میان ویژگی‌های مکانیکی می‌باشد
چهاردولی (۱۳۹۷)	ارزیابی خواص مهندسی سنگ‌های شیست با استفاده از آزمون پیچش	تعیین تاثیر زاویه‌های مختلف ناهمسانگردی شیست و ارائه روابط تجربی میان مقاومت پیچشی و پارامترهای فیزیکی و مکانیکی سنگ‌های مورد مطالعه
کریمی (۱۳۹۷)	ارزیابی خواص مهندسی تراورتن با استفاده از آزمون پیچش	تعیین اثر زوایای مختلف لامیناسیون تراورتن‌ها و ارائه روابط متعدد تجربی میان مقاومت پیچشی و پارامترهای فیزیکی و مکانیکی تراورتن
توسلی لاین (۱۳۹۵)	تعیین ویژگی‌های زمین‌شناسی مهندسی سنگ‌های سازند قم با استفاده از آزمون انتقال اصطکاک	ارائه روابط تجربی میان پارامترهای فیزیکی و مکانیکی با روش انتقال اصطکاک

فصل دوم: زمین‌شناسی منطقه

❖ زمین‌شناسی منطقه

کمپلکس دگرگونی تخت سلیمان در شمال شرقی **تکاب** در بخش بندی ساختاری ایران در پهنه‌های متفاوت **سنندج - سیرجان** و **ایران مرکزی** به شمار آمده است. امتداد ساختارهای زمین‌ساختی غالب در کمپلکس تخت سلیمان به موازات گسل راندگی زاگرس در امتداد شمال‌غربی - جنوب‌شرقی است. کمپلکس تخت سلیمان از نظر موقعیت مکانی در **شمال‌غربی** ایران قرار گرفته است.

❖ سنگ‌شناسی منطقه

سری دگرگونی تخت سلیمان به شدت **چین خورده** و توسط گسل‌هایی روی سنگ‌های ترشیری جوانتر رورانده شده است. در حوالی روستای قره‌ناس، این رورانده‌گی به وسیله گسل **قوزلو-قره‌ناس** انجام شده است. در شمال این گسل، ردیف ستبری از آمفیبولیت با میان لایه‌های مرمر قرار دارد که دارای افق‌هایی از سنگ‌های **اولترامافیک** است. این سری به شدت دگرگون شده و تغییر شکل یافته است، به طوری که در بخش‌های آمفیبولیتی و گنایسی دارای ساخت مختلف میگماتیتی می‌باشد.

در بخش شمالی سری، یک توده بزرگ افیولیتی مرکب از سنگ‌های **اولترابازیک** همراه با توده‌های گابرویی و دایک‌های دیابازی دیده می‌شود. در بخش شرقی و شمالی کمپلکس دگرگونی، **توده نفوذی** گرانودیوریتی پدیدار است. بخش جنوب گسل روران‌گی قوزلو-قره‌ناس را سنگ‌های رسوبی **الیگو-میوسن** تشکیل می‌دهند که به طور ناهمسان بر روی سنگ‌های دگرگونی کهن قرار گرفته‌اند.

فصل سوم: میگماتیت‌ها

❖ توصیف میگماتیت‌ها

از دسته موارد بحث برانگیز در زمین‌شناسی **توصیف** میگماتیت می‌باشد. نخستین بار واژه میگماتیت توسط سدرهولم در باب گنیس‌هایی به کار برده شد که از دید ژنتیکی دارای دو ناحیه متمایز هستند. یک ناحیه شیستی با فولیاسیون معلوم و یک ناحیه که از انحلال مجدد بخش اول و با تزریق ایجاد شده است.

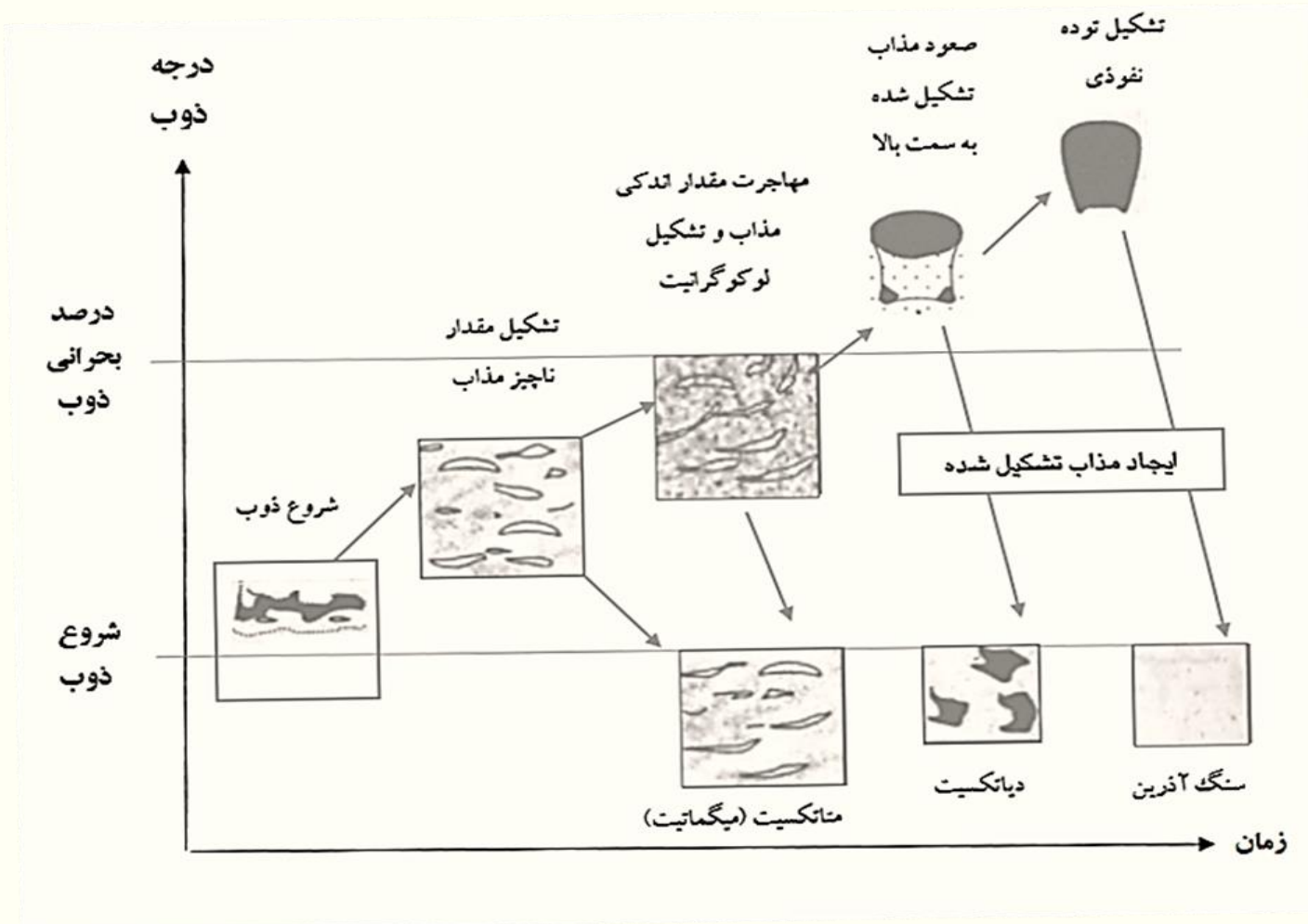
میگماتیت سنگی است که در حوزه‌های دگرگونی ردیابی شده و در سنجش ماکروسکپی از دو ناحیه با **پتروگرافی** متمایز ایجاد شده است.

❖ تشکیل میگماتیت

تکوین میگماتیت‌ها در حضور مذاب و بدون حضور مذاب رخ می‌دهد. در حضور ماده مذاب میگماتیت‌ها به دو صورت **ذوب بخشی** (آناتکسی) و **تزریقی** ایجاد می‌شوند. برترین عامل تکوین میگماتیت‌ها ذوب بخشی می‌باشد و میگماتیت‌های تکوین یافته در مدت ذوب توسعه بیشتری را درمقایسه با انواع دیگر نشان می‌دهند.

در عدم حضور مذاب، میگماتیت‌هایی تشکیل می‌شوند که به میگماتیت‌های دگرگونی معروفند. فرایندهای **متاسوماتیسم** و **تفریق دگرگونی** از این گروه می‌باشند.

شکل ۳: شکل کلی ذوب بخشی پوسته و تشکیل میگماتیت‌ها

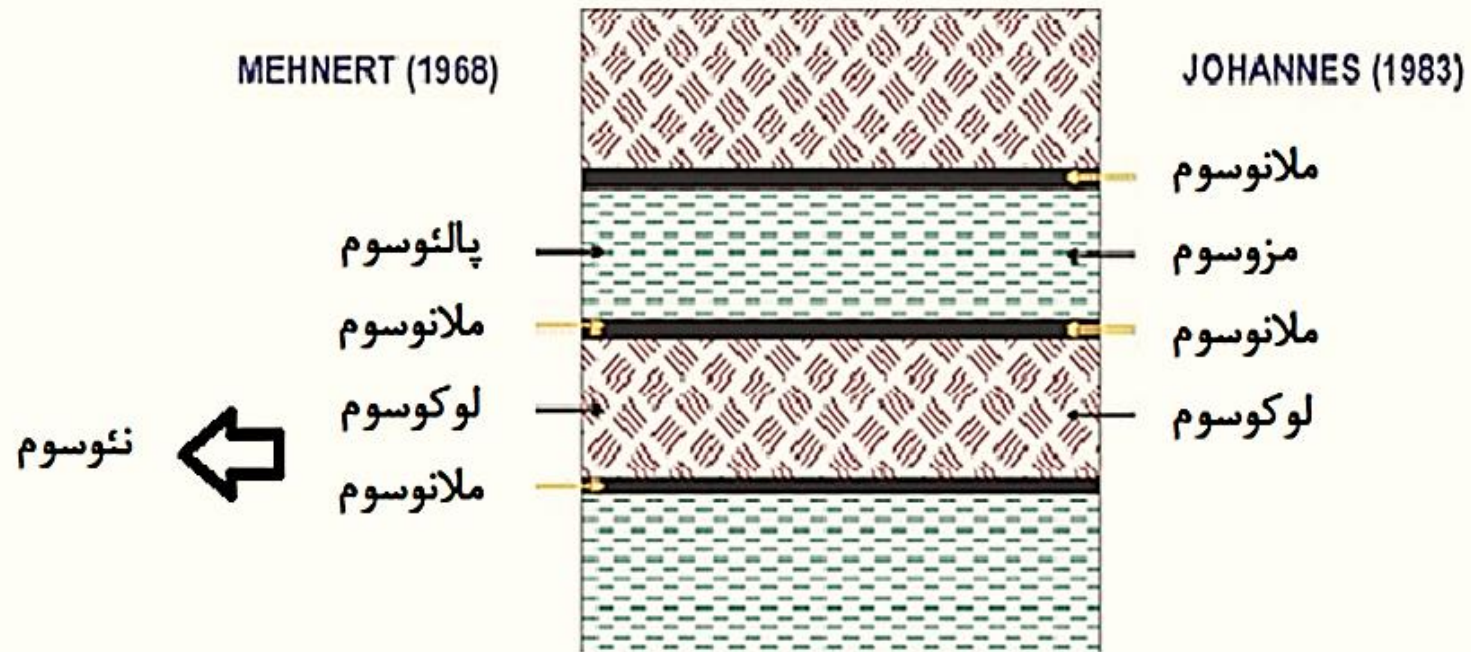


❖ ناحیه‌های سنگ میگماتیت

میگماتیت از ناحیه‌های متمایزی تشکیل شده است که این ناحیه‌ها و تعریف آن‌ها در ذیل ارائه می‌گردد.

- **پالئوسوم** : ناحیه‌ای از سنگ که تحت اثر ذوب بخشی قرار نگرفته باشد را پالئوسوم گویند. این ناحیه ساختار خود را حفظ نموده و **قدیمی تر** از رخداد ذوب بخشی است.
- **پروتولیت** : پروتولیت، اصطلاحی است که به سنگ مادری که تحت ذوب بخشی قرار می‌گیرد، اتلاق می‌شود. به بیان جامع‌تر، این اصطلاح برای سنگ شناسی **قبل از ذوب** بخشی استفاده می‌شود.

- **نئوسوم:** نئوسوم یا مزوسوم، ناحیه‌ای از میگماتیت است که **اخیرا** از ذوب بخشی پروتولیت ایجاد شده‌اند. ناحیه‌های مختلفی، نظیر تفاله، ملانوسوم و لوکوسوم در نئوسوم وجود دارد.
- **تفاله:** ناحیه‌ای از نئوسوم را تشکیل می‌دهد که عمدتاً جز جامدی است که **بعد** از ذوب بخشی جدا می‌شود و حاصل از قسمتی یا کل ناحیه ذوب شده است.
- **ملانوسوم:** ناحیه **تیره‌تر** نئوسوم در میگماتیت است که سرشار از کانی‌های تیره نظیر بیوتیت، گارنت، کردیوریت، اورتوپیروکسن، کلینوپیروکسن، آمفیبول و حتی اولیوین است.
- **لوکوسوم:** ناحیه **روشن‌تر** نئوسوم در میگماتیت است که اصولاً شامل **فلدسپار** و **کوارتز** می‌باشد. لوکوسوم، از مذاب ذوب بخشی جدا می‌شود و احتمال دارد دارای ساختارهایی باشد که نمایانگر تبلور از مذاب باشد.



شکل ۴: اجزاء تشکیل دهنده میگماتیت‌ها

فصل چهارم: آزمون‌های آزمایشگاهی

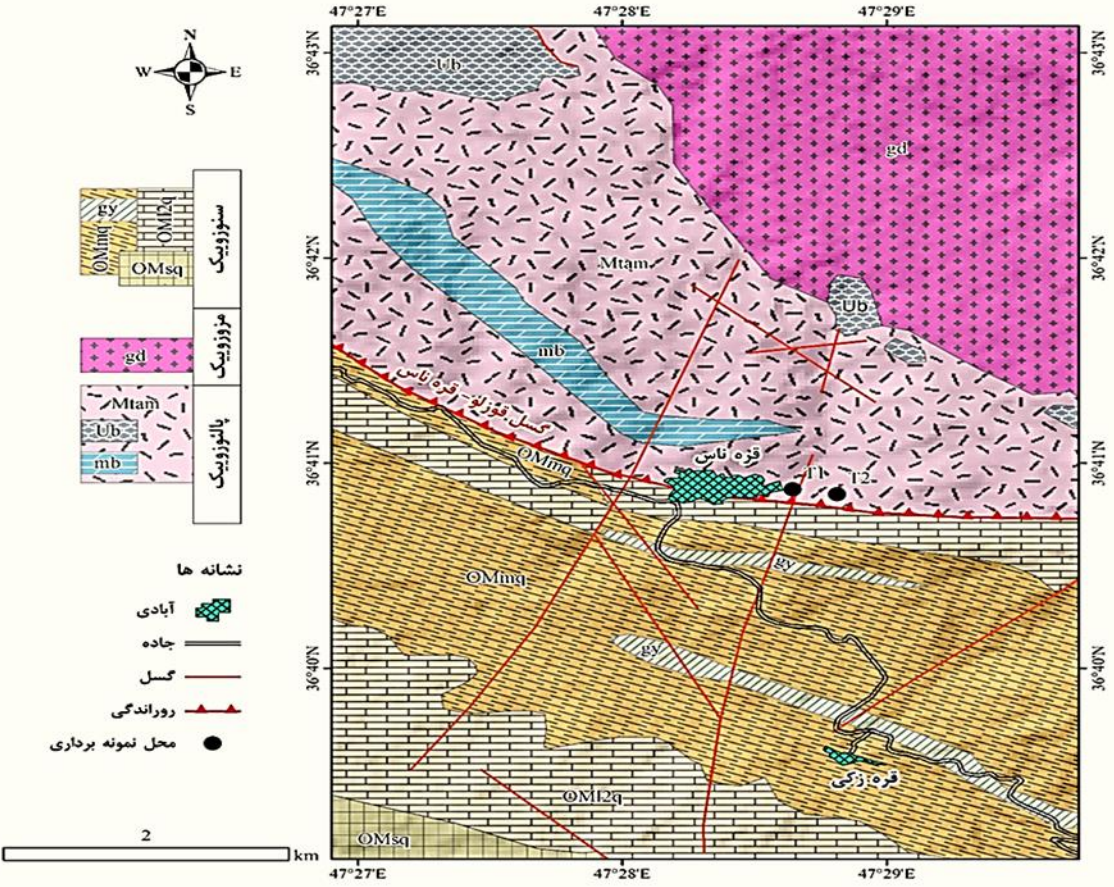
❖ نمونه برداری

منطقه مورد بررسی در اطراف روستای قرهناس و
شمال گسل قوزلو – قرهناس قرار دارد.

شکل ۶: نمایی از روستای قرهناس و نواحی اطراف آن



شکل ۱: نقشه زمین‌شناسی منطقه نمونه برداری در اطراف روستای قره‌ناس، مکان‌های نمونه برداری و مسیر دسترسی به آنها





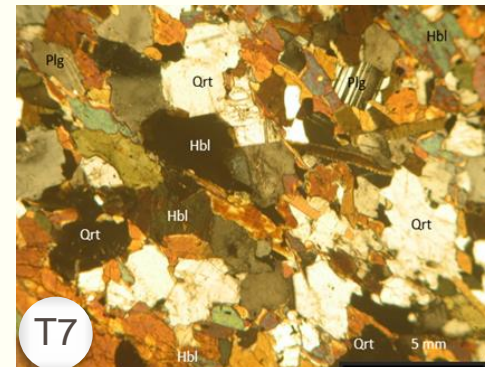
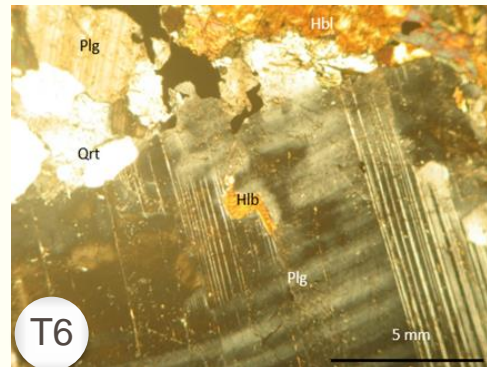
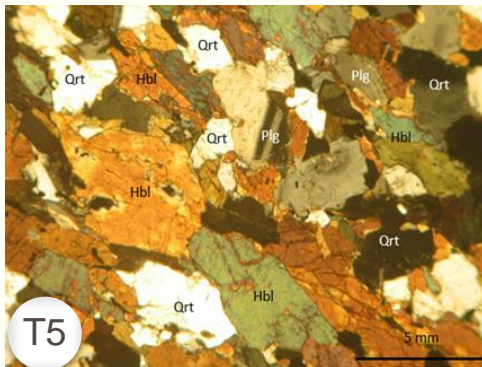
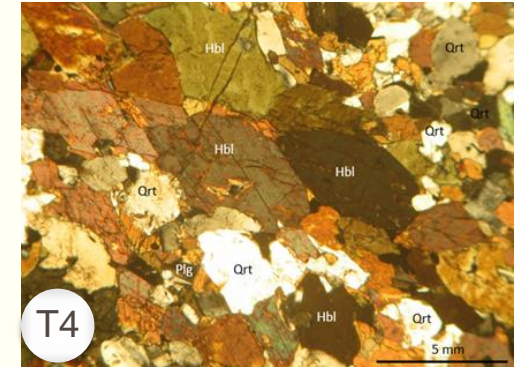
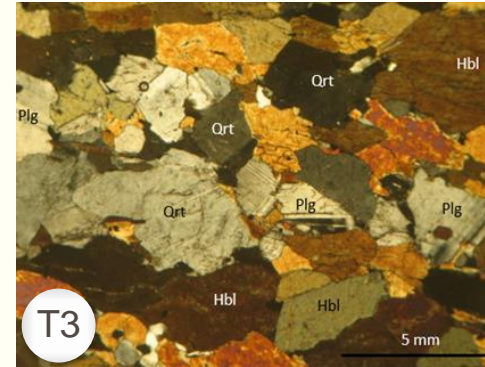
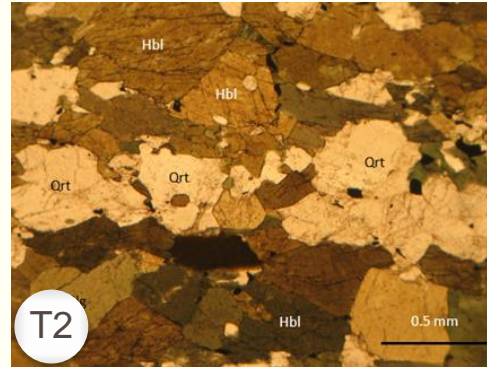
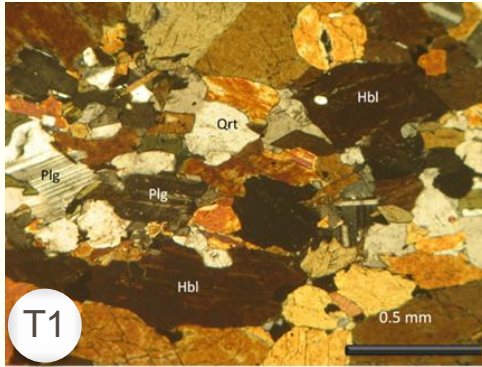
❖ آماده سازی نمونه‌ها

جهت انجام آزمایش‌های مورد نیاز، با استفاده از استاندارد ASTM-D 4543 به تهیه نمونه‌های استوانه‌ای با قطر **NX** از نمونه‌های بلوکی اقدام گردید. ابتدا از بلوک‌ها **مغزه‌گیری** صورت گرفت. سپس توسط دستگاه برش نمونه‌های استوانه‌ای به اندازه‌های مناسب **برش** داده شدند.

شکل ۷: مغزه‌گیری از بلوک‌های میگماتیتهی به وسیله دستگاه مغزه‌گیر و برش نمونه‌های مغزه‌گیری شده از بلوک‌های میگماتیتهی با استفاده از دستگاه برش

❖ بررسی سنگ‌شناسی میگماتیت‌های منطقه

مقاطع نازکی از هفت بلوک جمع‌آوری شده از منطقه تهیه گردید. در مقاطع بررسی شده میگماتیت‌ها، قشرهای روشن غنی از کوارتز و فلدسپار و قشرهای تیره رنگ غنی از هورنبلند مشاهده گردید. سنگ‌های مورد مطالعه اساساً بافت **گرانولار ریز تا متوسط دانه** داشتند و کانی‌های اصلی آن‌ها **پلاژیوکلاز** و **کوارتز** بودند.



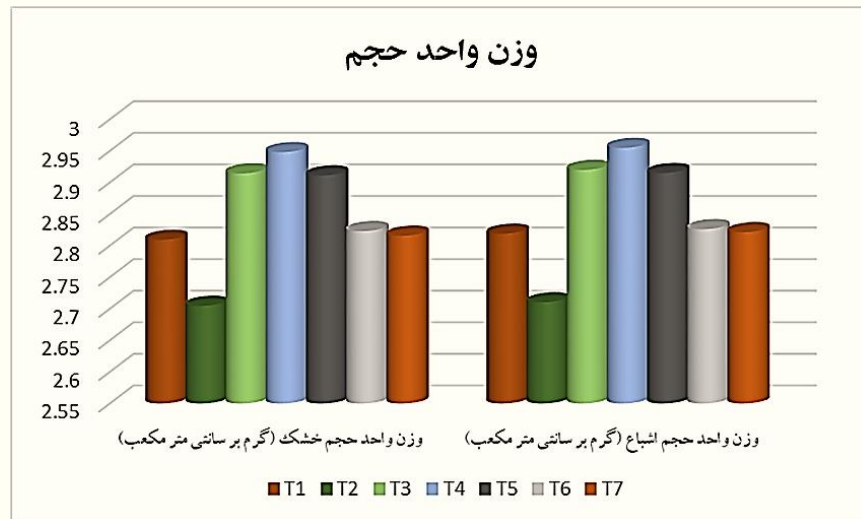
شکل ۸: مقاطع نازک بلوک‌های
میگماتیت در زیر میکروسکوپ در
نور قطبی

جدول ۱: آزمون‌های انجام گرفته و استانداردهای آن

استاندارد	آزمون
ASTM-D 4543	آماده سازی نمونه‌ها
ISRM	وزن واحد حجم
ISRM	درصد تخلخل
ISRM	درصد جذب آب
ISRM	وزن مخصوص قسمت جامد
ISRM	سختی واجهشی اشمیت
ISRM	سرعت سیر موج فشاری
ISRM	شاخص مقاومت بار نقطه‌ای
ISRM	مقاومت کششی غیر مستقیم
ISRM	مقاومت فشاری تک محوری

❖ خصوصیات فیزیکی

پس از تامین مغزه‌های مورد نیاز از بلوک‌ها، با اجرای آزمایش بر مبنای استاندارد **ISRM** بر روی **۵ مغزه** از هر بلوک در دو حالت خشک و اشباع خصوصیات فیزیکی شامل وزن واحد حجم، درصد تخلخل، وزن مخصوص و درصد جذب آب برای هریک از نمونه‌ها بر مبنای استاندارد تعیین گردید.

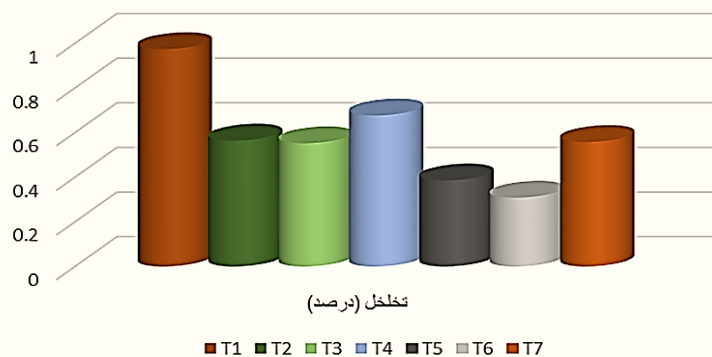


- **وزن واحد حجم:** بر مبنای داده‌های حاصل بیشترین و کمترین میزان وزن واحد حجم به ترتیب برای میگماتیت‌های تیپ T2 و T4 می‌باشد.

شکل ۹: نمودار مقایسه‌ای وزن واحد حجم نمونه‌ها در حالت خشک و اشباع

فصل چهارم: آزمایش‌های آزمایشگاهی

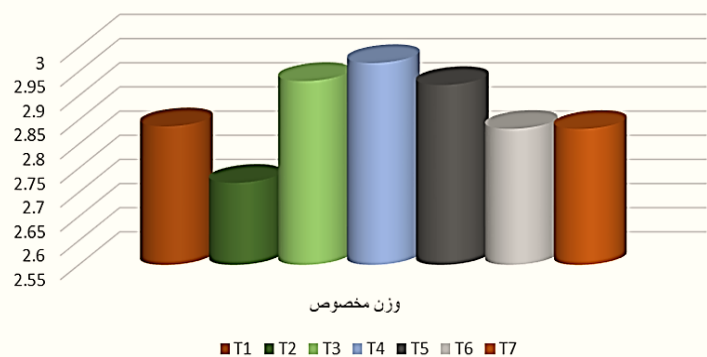
درصد تخلخل (%)



- **درصد تخلخل:** داده‌های این بخش حاکی از آن است که میگماتیت‌های تیپ T1 دارای بیشترین میزان درصد تخلخل می‌باشند و میگماتیت‌های تیپ T6 دارای کمترین میزان درصد تخلخل هستند.

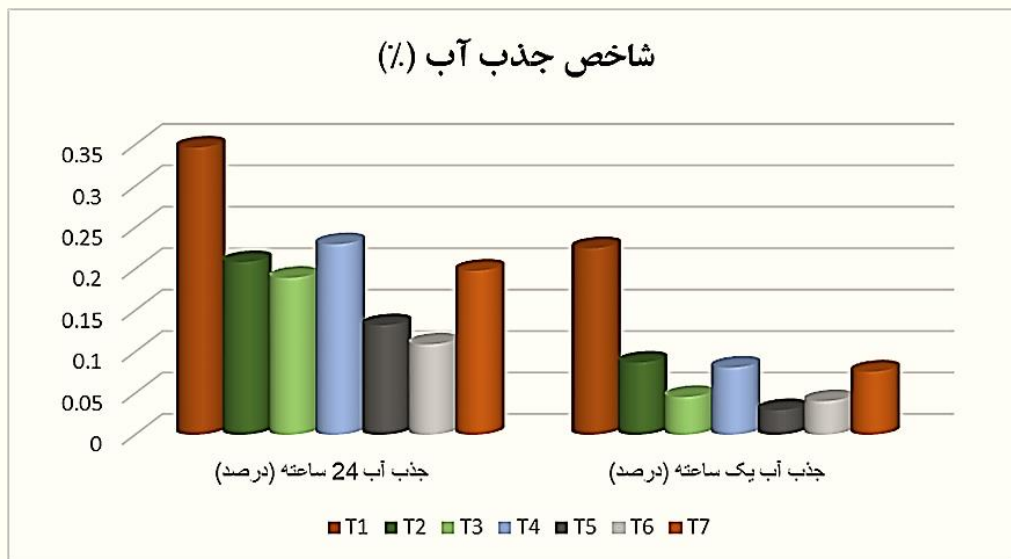
شکل ۱۰: نمودار مقایسه‌ای درصد تخلخل نمونه‌های مورد بررسی

وزن مخصوص



- **وزن مخصوص جامد:** در خصوص این شاخص میگماتیت‌های تیپ T4 بیشترین مقدار و میگماتیت‌های تیپ T2 کمترین مقدار را از خود نشان دادند.

شکل ۱۱: نمودار میله‌ای وزن مخصوص جامد نمونه‌ها

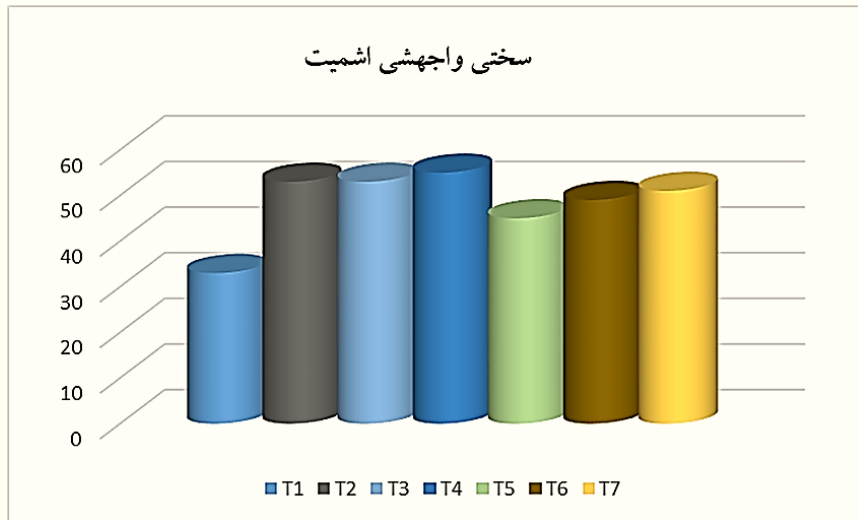


– درصد جذب آب: مطالعه این شاخص برای نمونه‌های مورد مطالعه نشان داد که میزان درصد جذب آب ۱ ساعته دارای بیشترین مقدار در میگماتیت‌های تیپ T1 و دارای کمترین مقدار در میگماتیت‌های تیپ T5 است. درصد جذب آب ۲۴ ساعته برای میگماتیت‌های تیپ T1 دارای بیشترین مقدار و برای میگماتیت‌های تیپ T6 دارای کمترین مقدار است.

شکل ۱۲: نمودار میله‌ای شاخص جذب آب

❖ خصوصیات مکانیکی

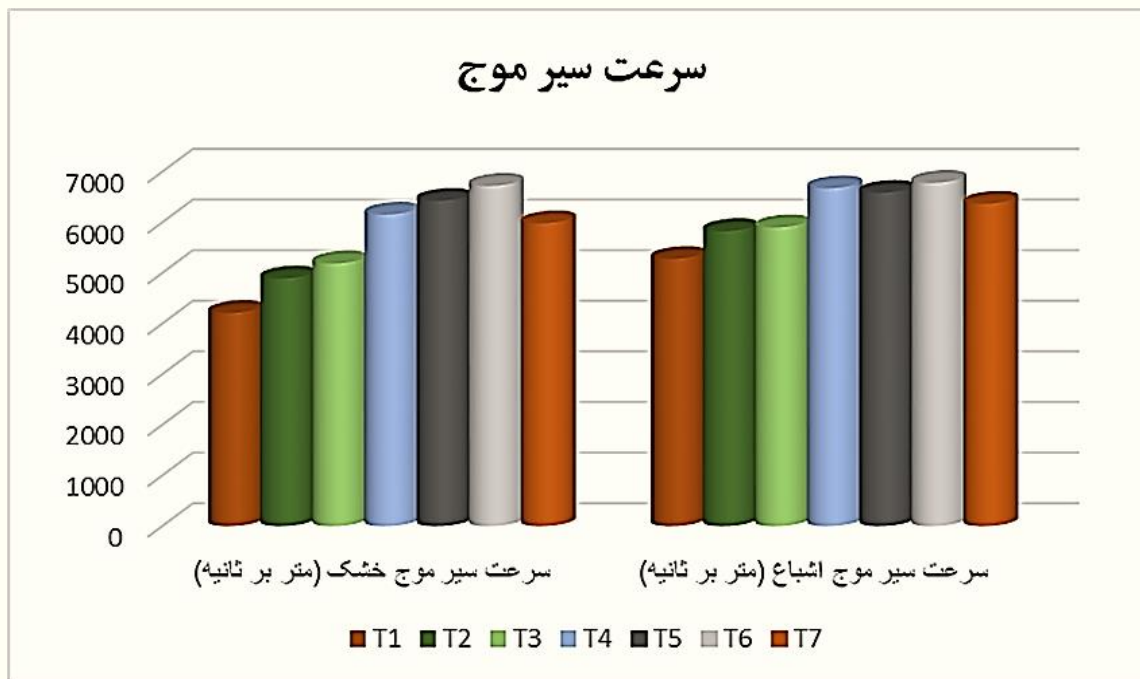
ویژگی‌های مکانیکی سنگ‌ها اساسی برای بررسی و شناخت مهندسی بر روی آن‌ها می‌باشد. اساساً جهت آگاهی از ویژگی‌های مکانیکی سنگ‌ها از آزمایش‌های آزمایشگاهی بر مبنای استاندارد **ISRM** استفاده می‌شود.



– **سختی واجهشی اشمیت:** در این پژوهش، جهت انجام آزمایش، از چکش نوع **N** استفاده شده است. این آزمایش در آزمایشگاه و پیش از فرایند مغزه‌گیری، انجام گرفت. این سختی برای نمونه‌های تیپ T4 داری بیشترین مقدار و برای نمونه‌های تیپ T1 کمترین مقدار است.

شکل ۱۳: نمودار مقایسه‌ای سختی واجهشی اشمیت

فصل چهارم: آزمایش‌های آزمایشگاهی

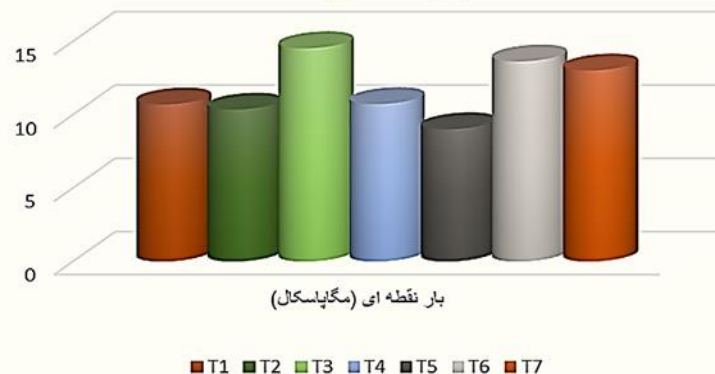


– **سرعت سیر موج فشاری:** این آزمون در دو حالت خشک و اشباع صورت گرفت. در حالت اشباع بیشترین مقدار سرعت نشر موج فشاری برای نمونه‌های تیپ T6 و کمترین مقدار آن برای نمونه‌های تیپ T1 است. در حالت خشک بیشترین میزان این شاخص برای نمونه‌های تیپ T6 و کمترین مقدار آن برای نمونه‌های تیپ T1 می‌باشد.

شکل ۱۴: نمودار شاخص سرعت سیر موج

فصل چهارم: آزمایش‌های آزمایشگاهی

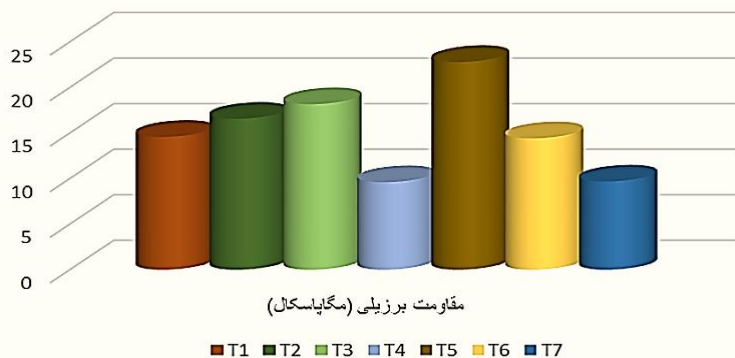
بار نقطه‌ای



– **مقاومت بار نقطه‌ای:** در این پژوهش، نمونه‌های سنگ در وضعیت خشک و به صورت **قطری** مورد آزمایش قرار گرفتند. نتایج نشان داد که برای نمونه‌های تیپ T3 شاخص بار نقطه‌ای دارای مقدار بیشینه و برای نمونه‌های تیپ T5 دارای مقدار کمینه می‌باشد.

شکل ۱۵: نمودار مقادیر شاخص بار نقطه‌ای

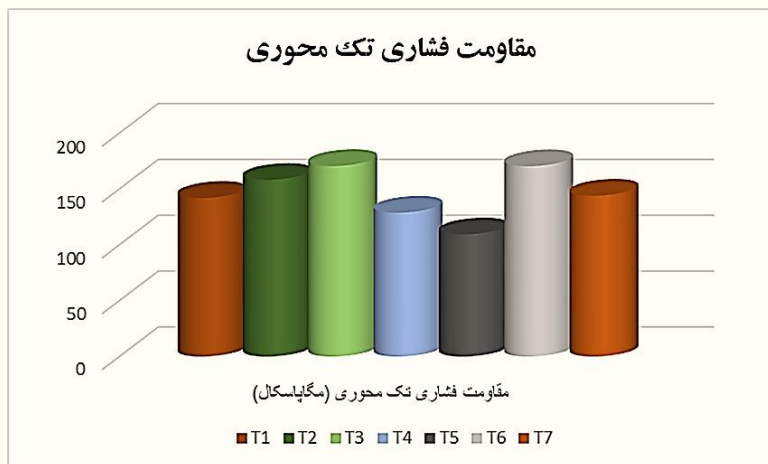
مقاومت برزیلی



– **مقاومت کششی غیر مستقیم:** در این پژوهش، آزمون برزیلی بر روی مدل‌های سنگ در حالت خشک صورت گرفت. مقادیر این آزمون نشان داد که برای نمونه‌های تیپ T5 بیشترین مقدار مقاومت کششی و برای نمونه‌های تیپ T4 کمترین مقدار این شاخص است.

شکل ۱۶: نمودار مقاومت برزیلی نمونه‌ها

– **مقاومت فشاری تک محوری:** بر مبنای استاندارد **ISRM**، آزمون مقاومت فشاری تک محوری بر روی نمونه‌ها در حالت خشک انجام گرفت. برای نمونه‌های تیپ T6 شاخص مقاومت فشاری تک محوری داری بیشترین مقدار و برای نمونه‌های T5 این شاخص دارای کمترین مقدار است.



شکل ۱۷: نمودار میلی‌ای شاخص مقاومت فشاری تک محوری

نمونه	مقاومت فشاری تک محوری (MPa)				نسبت مدولی				رده
	Max	Min	Ave	Sd	Max	Min	Ave	Sd	
T1	201/660	76/105	141/955	44/456	199/284	124/071	172/181	25/254	BL
T2	176/302	140/506	158/136	14/618	186/460	131/625	166/168	24/522	BL
T3	186/075	144/651	170/521	15/501	164/570	134/441	146/647	10/178	BL
T4	184/522	79/642	128/746	32/573	235/778	174/744	214/627	25/400	BM
T5	115/964	103/107	109/313	5/558	205/206	179/807	194/590	10/779	BL
T6	220/202	107/361	170/377	45/824	225/050	149/788	179/011	35/206	BL
T7	172/287	113/106	142/964	21/349	227/430	134/982	189/34	34/283	BL

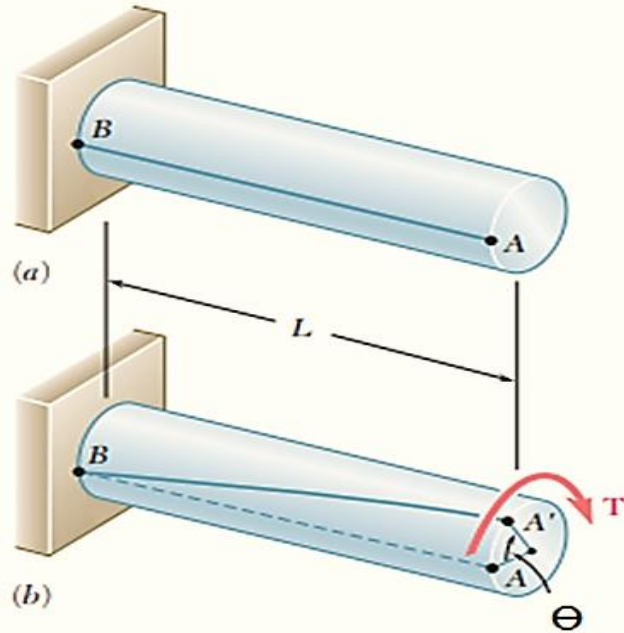
شکل: نتایج شاخص‌های مقاومت فشاری تک محوری و نسبت مدولی

فصل پنجم: آزمایش پیچش

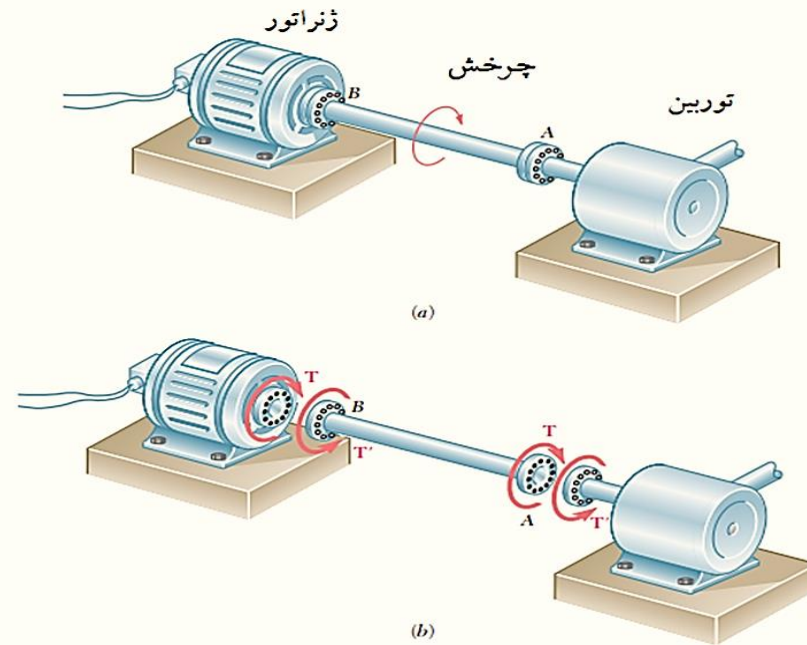
شیوه‌ای به نام **پیچش** برای ارزیابی مقاومت درجای مواد ساختمانی از جمله بتن و ملات، در سال ۲۰۰۶ از سوی **نادری** خلق گردید. نتایج حاصل از این شیوه **دقیق** بوده و خرابی‌های حاصل از آن جزئی می‌باشد؛ از این رو امکان استفاده از این شیوه در فعالیت‌های تحقیقاتی وجود دارد.

❖ پیچش

از جمله بارهای متفاوت وارد بر مواد می‌توان بار پیچشی را معرفی نمود. در اکثر برنامه‌های مهندسی، اجزا دستخوش پیچش می‌باشند. اگر یکی از سطوح انتهایی مغزه ثابت باشد و یک نیروی پیچشی به سطح آزاد آن وارد شود، انتهای آزاد مغزه به اندازه θ چرخش می‌کند. θ زاویه پیچش است که با طول L و نیروی T متناسب است.



شکل ۱۹: تصویر شماتیک پیچش یک محور با یک سر ثابت



شکل ۱۸: تصویر شماتیک ژنراتور و پیچش

❖ آزمون پیچش

این آزمایش در حالت خشک بر روی نمونه‌هایی با قطر 54 mm (NX) و طول متوسط $11/15$ سانتی‌متر انجام گرفت. جهت انجام آزمایش از مغزه‌های آماده سازی شده در مرحله آماده سازی نمونه‌ها استفاده گردید.

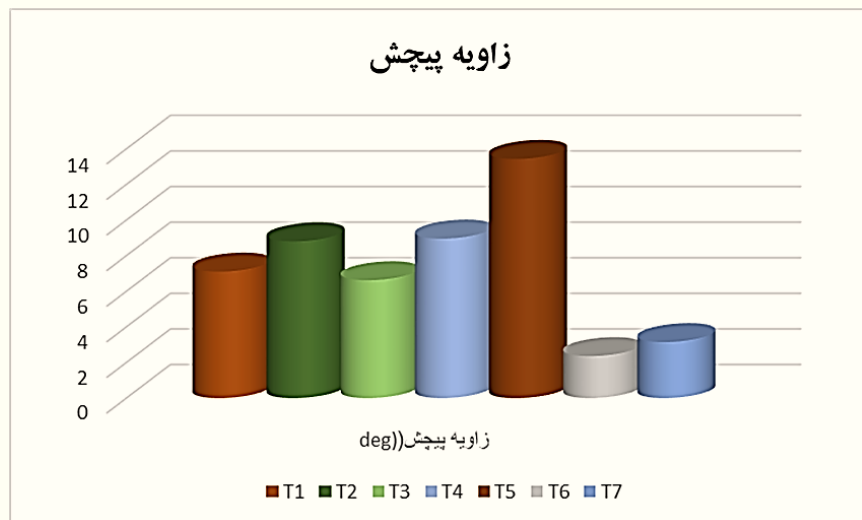
❖ نحوه انجام آزمایش

ابتدا پایه دستگاه پیچش در محلی مناسب ثابت گردید و پس از آن مغزه‌ها به صورت مجزا درون پایه دستگاه قرار داده شده و گیره آزمایش در طرف دیگر آن‌ها ثابت گردید؛ آن‌گاه پس از طی مراحل ذکر شده، دستگاه ترک‌متر بر روی گیره آزمایش متصل شده و نیروی چرخشی به کمک دست تا لحظه شکست سنگ اعمال گردید. پس از آن میزان نیروی پیچش سنگ در لحظه شکست یادداشت گردید.

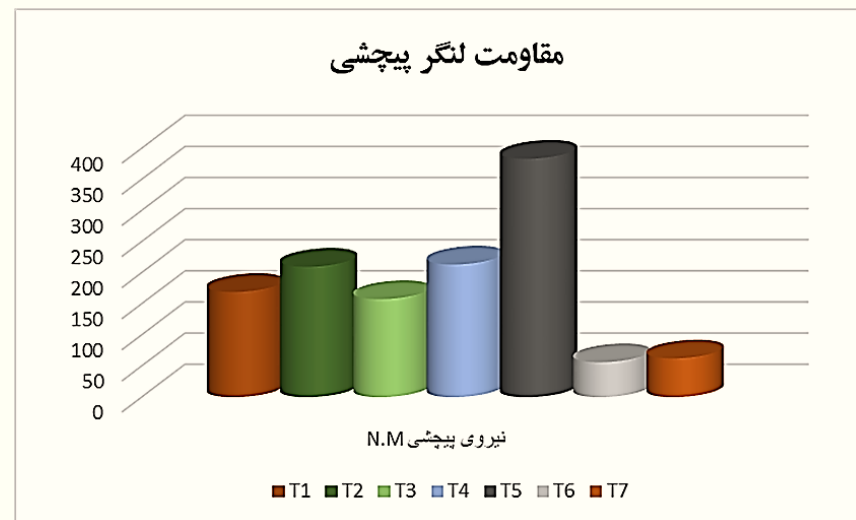


شکل ۲۰: دستگاه پیچش، ترک متر و روش انجام آزمایش

داده‌های حاصل از این آزمون نشان داد که شاخص‌های مقاومت لنگر پیچشی و شاخص زاویه پیچش برای نمونه‌های تیپ T5 دارای بیشترین مقدار خود و برای نمونه‌های تیپ T6 کمترین مقدار خود می‌باشند.



شکل ۲۲: نمودار میله‌ای مقایسه‌ای زاویه پیچش



شکل ۲۱: نمودار میله‌ای مقایسه‌ای مقاومت لنگر پیچشی

فصل ششم: تحلیل نتایج

آنالیز اطلاعات به منظور مطالعه قابل قبول بودن فرضیات، از جمله مراحل مهم برای هرگونه پژوهش می‌باشد.

❖ آزمون پیچش و رابطه آن با زاویه پیچش

بر مبنای داده‌ها و نمودارهای حاصل از این آزمایش، هر اندازه زاویه پیچش بیشتر باشد، میزان مقاومت لنگر پیچشی نمونه نیز بالاتر است. در این پژوهش، حداکثر مقاومت لنگر پیچشی برای زاویه پیچش $20/16$ درجه و حداقل مقاومت لنگر پیچشی برای زاویه $1/26$ درجه می‌باشد.

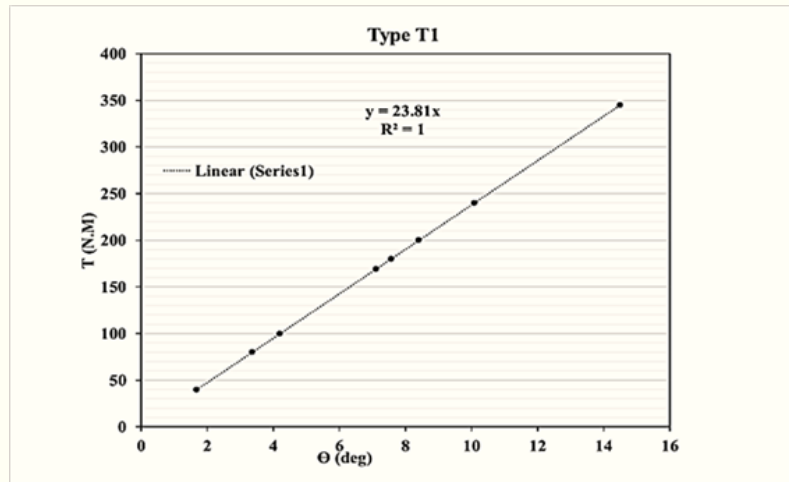


نوع	شکست کششی	شکست برشی چندگانه	شکست برشی	نوع گسیختگی نسبت به لایه بندی
T1				-
T2		-		- شکستگی کششی در خلاف جهت لایه بندی - شکستگی برشی در جهت لایه بندی
T3				- شکستگی کششی و برشی خلاف لایه بندی - شکستگی برشی چندگانه در جهت لایه بندی
T4				-
T5			-	- شکستگی کششی در جهت لایه بندی
T6		-		-
T7		-		-

شکل ۲۳: الف - گسیختگی های حاصل از اعمال آزمون پیچش بر نمونه های مورد مطالعه

ب - انواع گسیختگی های حاصل از آزمون پیچش به صورت ترسیمی، به دست آمده در این پژوهش

معادله خط و ضریب تعیین حاصل از بررسی آزمون پیچش و رابطه آن با زاویه پیچش برای هر نوع سنگ میگماتیت در حالت خشک، به صورت مجزا در اینجا ارائه شده است.



نوع نمونه	محدوده قابل قبول (deg)	رابطه تجربی	نوع رابطه	R ²
T ₁	۱/۶۸-۱۴/۴۹	$T = ۲۳/۸۱ \theta$	خطی	۱
T ₂	۱۶/۸-۲/۲۹	$T = ۲۳/۸۱ \theta$	خطی	۱
T ₃	۱/۲۶-۱۴/۷	$T = ۲۳/۸۱ \theta + ۱E-۱۳$	خطی	۱
T ₄	۱/۲۶-۱۷/۰۶	$T = ۲۳/۸۱ \theta + ۳E-۱۳$	خطی	۱
T ₅	۱۳/۴۴-۲۰/۱۶	$T = ۲۳/۸۱ \theta$	خطی	۱
T ₆	۱/۲۶-۵/۷۲	$T = ۲۳/۸۱ \theta$	خطی	۱
T ₇	۱/۴۷-۳/۳۶	$T = ۲۳/۸۱ \theta$	خطی	۱

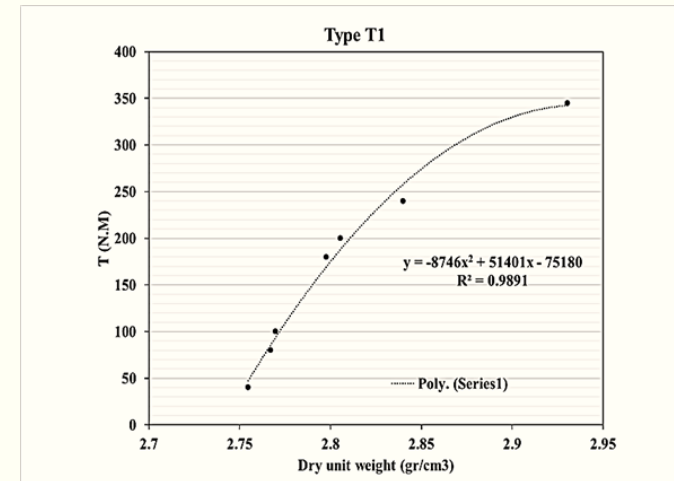
شکل ۲۴: رابطه میان مقاومت لنگر پیچشی و زاویه پیچش در حالت خشک برای نمونه‌های T₁

جدول ۴: اندازه پارامترهای محاسباتی مقاومت لنگر پیچشی و زاویه پیچش در شرایط خشک

❖ آزمون پیچش و ارتباط آن با شاخص‌های فیزیکی

- مقاومت لنگر پیچشی و وزن واحد حجم خشک: با توجه به داده‌های حاصل از آزمایشگاه و رده بندی وزن واحد حجم خشک (آنون، ۱۹۷۹)، نمونه‌های آزمایش به صورت عمده در رده ۵ با وزن واحد حجم خشک خیلی زیاد قرار می‌گیرند. در ذیل معادله خط و ضرایب تعیین لنگر پیچشی و وزن واحد حجم خشک نشان داده شده است.

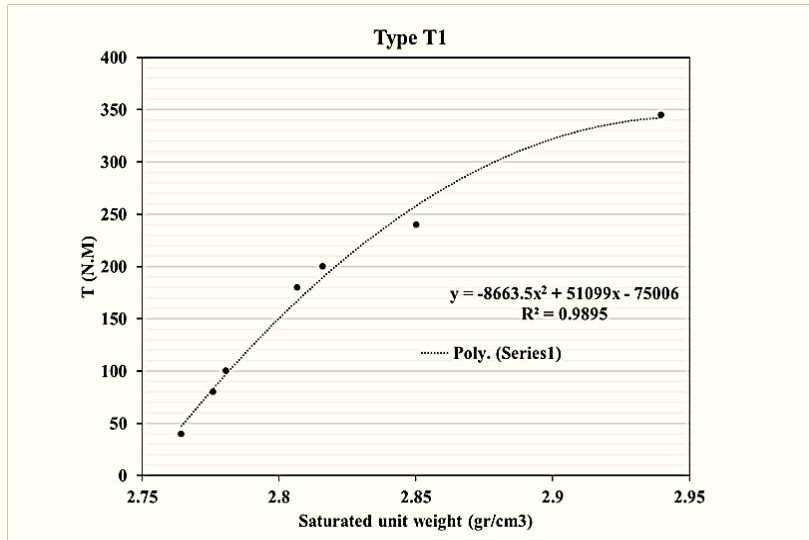
نوع نمونه	محدوده قابل قبول (gr/cm ³)	رابطه تجربی	نوع رابطه	ضریب تعیین (R ²)
T1	۲/۷۵-۲/۹۳	$T = -8746 \gamma_d^2 + 51401 \gamma_d - 75180$	چند جمله‌ای	۰/۹۸۹۱
T2	۲/۶۹-۲/۷۰	$T = 9E - 162 \gamma_d^{377,84}$	توانی	۰/۸۵۱۴
T3	۲/۸۹-۲/۹۲	$T = 2E - 99e^{9,53} \gamma_d$	نمایی	۰/۸۲۴۵
T4	۲/۸۰-۳/۰۵	$T = 940,8/3 \gamma_d^2 - 530,96 \gamma_d + 74924$	چند جمله‌ای	۰/۹۲۲۷
T5	۲/۸۹-۲/۹۳	$T = 67231 \gamma_d^2 - 387468 \gamma_d + 558578$	چند جمله‌ای	۰/۹۷۵۹
T6	۲/۷۹-۲/۸۵	$T = 59491 \gamma_d^2 - 33440,0 \gamma_d + 469939$	چند جمله‌ای	۰/۹۵۷۵
T7	۲/۸۱۱-۲/۸۱۹	$T = 80,5338 \gamma_d^2 + 5E + 0,6 \gamma_d - 6E + 0,6$	چند جمله‌ای	۰/۹۸۸۸
کل نمونه‌ها	۲/۷۰-۲/۹۴	$T = 8124 \gamma_d^2 - 45575 \gamma_d + 64035$	چند جمله‌ای	۰/۳۳۵۳



شکل ۲۶: ارتباط میان لنگر پیچشی و وزن واحد حجم خشک برای میکماتیت نوع T₁

جدول ۵: مقادیر محاسباتی مقاومت لنگر پیچشی و وزن واحد حجم خشک

- مقادیر لنگر پیچشی و وزن واحد حجم اشباع: داده‌های حاصل از بررسی این پارامترها حاکی از آن است که، میان این دو شاخص رابطه چند جمله‌ای و نمایی حاکم است.

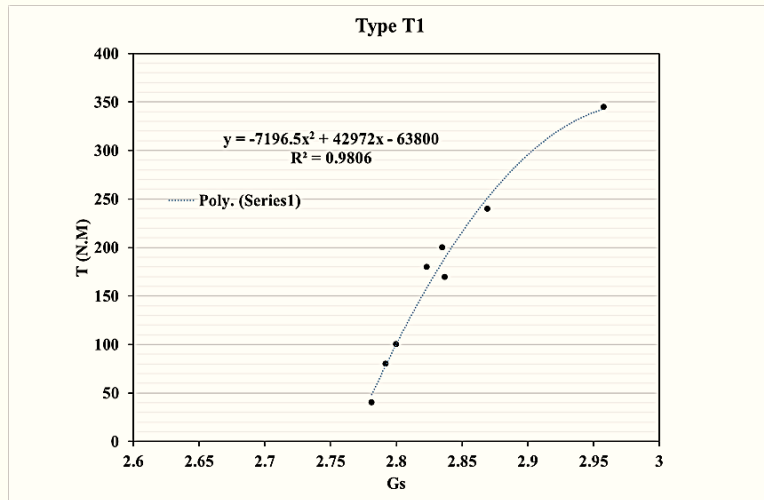


نوع نمونه	محدوده قابل قبول (gr/cm ³)	رابطه تجربی	نوع رابطه	ضریب تعیین (R ²)
T1	۲/۷۶-۲/۹۳	$T = -8663/5 \gamma_{sat}^2 + 51099 \gamma_{sat} - 75006$	چند جمله‌ای	۰/۹۸۹۵
T2	۲/۷۰-۲/۷۱	$T = 3E - 181e^{155/31} \gamma_{sat}$	نمایی	۰/۸۵۱
T3	۲/۹۰-۲/۹۳	$T = 2E - 102e^{81/79} \gamma_{sat}$	نمایی	۰/۸۴۶
T4	۲/۸۱-۳/۰۵	$T = 9818 \gamma_{sat}^2 - 55607 \gamma_{sat} + 788749$	چند جمله‌ای	۰/۹۲۴۳
T5	۲/۸۹-۲/۹۳	$T = 70692 \gamma_{sat}^2 - 408158 \gamma_{sat} + 589466$	چند جمله‌ای	۰/۹۷۳۴
T6	۲/۸۰-۲/۸۵	$T = 59329 \gamma_{sat}^2 - 333862 \gamma_{sat} + 469708$	چند جمله‌ای	۰/۹۵۸۲
T7	۲/۸۱-۲/۸۲	$T = -6122231 \gamma_{sat}^2 + 3E + 06 \gamma_{sat} - 5E$	چند جمله‌ای	۰/۹۹۰۱
کل نمونه‌ها	۲/۷۱-۲/۹۵	$T = 15083 \ln(\gamma_{sat}) - 1409/3 + 06$	لگاریتمی	۰/۱۶۰۸

شکل ۲۸: ارتباط میان لنگر پیچشی و وزن واحد حجم اشباع برای میگماتیت نوع T₁

جدول ۶: پارامترهای محاسبه شده برای مقاومت لنگر پیچشی و وزن واحد حجم اشباع

– **مقاومت پیچشی و وزن مخصوص:** بر مبنای بررسی‌های صورت گرفته، مقاومت لنگر پیچشی با وزن مخصوص نمونه رابطه کاملاً مستقیم داشته و به صورت صعودی دارای افزایش می‌باشد.

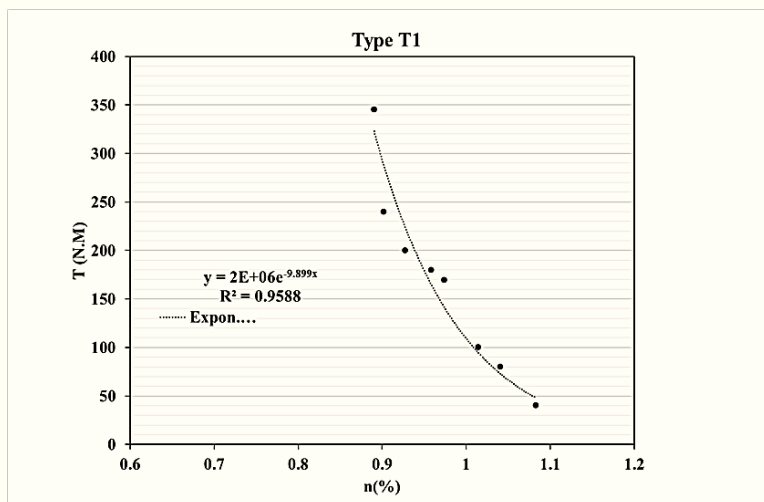


نوع نمونه	محدوده قابل قبول	رابطه تجربی	نوع رابطه	ضریب تعیین (R^2)
T ₁	۲/۷۸- ۲/۹۵	$T = - 7196/5 Gs^2 + 42972 Gs - 63800$	چند جمله‌ای	۰/۹۸۰۶
T ₂	۲/۷۱- ۲/۷۲	$T = 6E - 224e^{190/82Gs}$	نمایی	۰/۸۵۰۲
T ₃	۲/۹۱- ۲/۹۴	$T = 1E - 115 Gs^{250/137}$	توانی	۰/۸۵۴۴
T ₄	۲/۸۲- ۳/۰۶	$T = 9637/3 Gs^2 - 54767 Gs + 77820$	چند جمله‌ای	۰/۹۱۷۶
T ₅	۲/۹۰- ۲/۹۴	$T = 76602 Gs^2 - 443754 Gs + 642978$	چند جمله‌ای	۰/۹۶۸۲
T ₆	۲/۸۰- ۲/۸۶	$T = 4758 Gs^2 - 267941 Gs + 377261$	چند جمله‌ای	۰/۹۱۸۹
T ₇	۲/۸۲- ۲/۸۳	$T = -143372 Gs^2 - 817474 Gs - 1E + 06$	چند جمله‌ای	۰/۹۹۵۸
کل نمونه‌ها	۲/۷۲- ۲/۹۶	$T = 0/1207 Gs^{-7/678}$	توانی	۰/۰۸۳۵

شکل ۳۰: ارتباط میان لنگر پیچشی و وزن مخصوص برای میگماتیت نوع T₁

جدول ۷: مقادیر محاسبه شده برای مقاومت لنگر پیچشی و وزن مخصوص در آزمایشگاه

- **مقاومت لنگر پیچشی و درصد تخلخل:** در رابطه با آزمون پیچش وجود خلل و فرج موجب **کاهش** مقاومت سنگ شده و نیروی کمتری جهت شکست نمونه لازم است. براساس داده‌های این مطالعه، نمونه‌های مورد بررسی اکثراً در گروه سنگ‌هایی با تخلخل خیلی کم و مقاومت خیلی زیاد جای دارند.

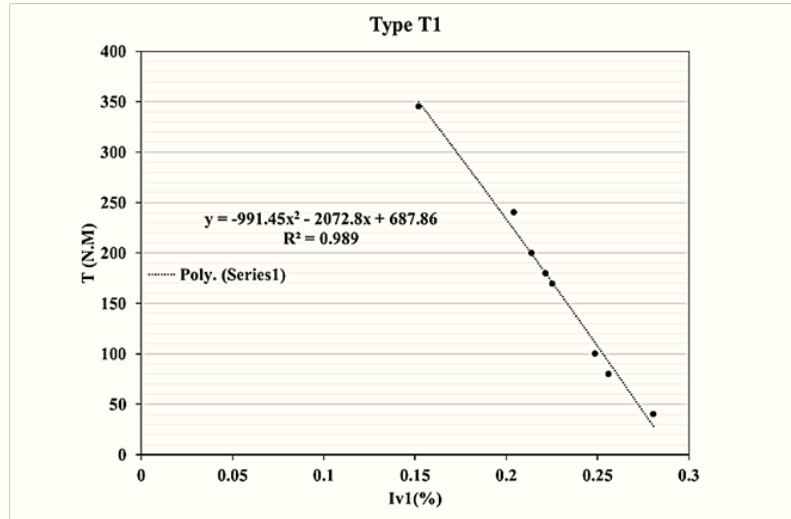


شکل ۳۲: ارتباط میان مقاومت لنگر پیچشی و درصد تخلخل میگماتیت نوع T₁

نوع نمونه	محدوده قابل قبول (%)	رابطه تجربی	نوع رابطه	ضریب تعیین (R ²)
T ₁	۱/۰۸-۰/۸۹	$T = ۲E + ۰.۶e^{-۹.۳۹۹n}$	نمایی	۰/۹۵۸۸
T ₂	۰/۱۶۴-۰/۵۲	$T = ۴۴۶۷۷۰. e^{-۱۲/۹۸n}$	نمایی	۰/۸۵۴۳
T ₃	۰/۵۹-۰/۴۸	$T = - ۱۲۱۹۷n^۲ + ۱۰۰۲۰n - ۱۶۴۰/۷$	چند جمله‌ای	۰/۷۹۷
T ₄	۰/۸۵-۰/۴۹	$T = ۵۴۴/۱۲n^۲ - ۲۱۰۸/۸n + ۱۳۸۴/۲$	چند جمله‌ای	۰/۸۹۴۹
T ₅	۰/۴۲-۰/۳۶	$T = ۶۲۹۶۳n^۲ - ۵۱۵۶۸n + ۱۰۸۷۴$	چند جمله‌ای	۰/۷۰۱۶
T ₆	۰/۳۴-۰/۲۴	$T = ۹۰۹۶n^۲ - ۶۴۸۸/۵n + ۱۱۸۳/۶$	چند جمله‌ای	۰/۹۷۱۹
T ₇	۰/۶۰۳-۰/۵۱	$T = - ۲۷۴۵/۸n^۲ + ۲۵۲۷n - ۴۹۰/۷۴$	چند جمله‌ای	۰/۹۷۲۴

جدول ۸: مقادیر به دست آمده از مقاومت لنگر پیچشی و درصد تخلخل

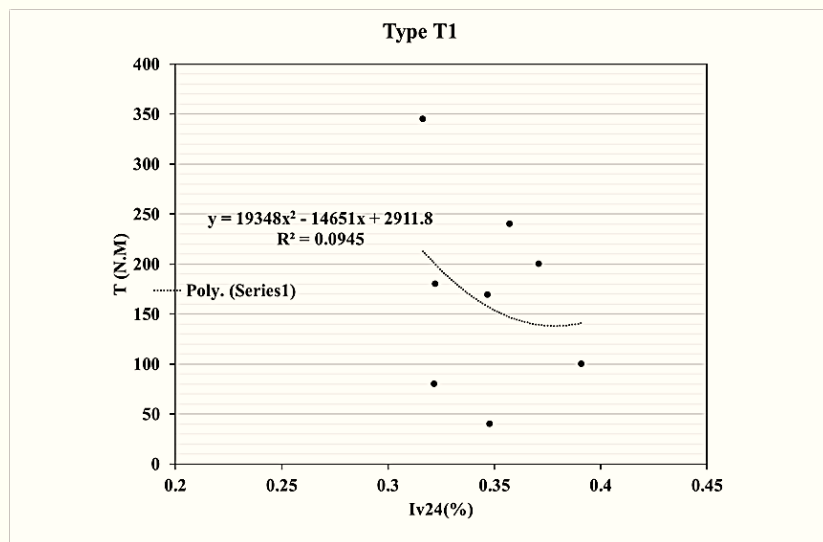
– **مقاومت لنگر پیچشی و درصد جذب آب:** وجود خلل و فرج در نمونه‌های سنگی همواره در میزان جذب آب از جانب سنگ موثر است. با توجه به اعداد و ارقام به‌دست آمده از بررسی‌ها، به نسبت افزایش میزان جذب آب، میزان مقاومت لنگر پیچشی کاهش می‌یابد. این امر نشانگر آن است که، درصد جذب آب همانند تخلخل بر میزان مقاومت لنگر پیچشی **تأثیر عکس** داشته و موجب کاهش آن می‌گردد.



شکل ۳۴: رابطه درصد جذب آب ۱ ساعته و مقاومت لنگر پیچشی میگماتیت نوع T₁

نوع نمونه	محدوده قابل قبول (%)	رابطه تجربی	نوع رابطه	ضریب تعیین (R ²)
T ₁	۰/۲۸-۰/۱۵	$T = -991/45 Iv_1^2 - 2072/8 Iv_1 + 687/86$	چند جمله‌ای	۰/۹۸۹
T ₂	۰/۱۰۹-۰/۰۷	$T = 12294e^{-49/19 Iv_1}$	نمایی	۰/۹۰۱۲
T ₃	۰/۰۵-۰/۰۳	$T = 20765 Iv_1 + 1106/3$	خطی	۰/۸۹۲۴
T ₄	۰/۱۱-۰/۰۴	$T = -5977/4 Iv_1 + 698/44$	خطی	۰/۸۵۱۳
T ₅	۰/۰۳-۰/۰۲	$T = 2E + 0.7 Iv_1^2 - 1E + 0.6 Iv_1 + 20.948$	چند جمله‌ای	۰/۹۰۶۹
T ₆	۰/۰۴-۰/۰۳	$T = 453258 Iv_1^2 - 42489 Iv_1 + 1023/8$	چند جمله‌ای	۰/۹۷۷۲
T ₇	۰/۰۹-۰/۰۶	$T = 36580 Iv_1^2 - 7502/6 Iv_1 + 417/98$	چند جمله‌ای	۰/۹۶۵۲

جدول ۹: مقادیر حاصل برای مقاومت لنگر پیچشی و درصد جذب آب ۱ ساعته



شکل ۳۶: تناسب میان درصد جذب آب ۲۴ ساعته و مقاومت لنگر پیچشی میگماتیت نوع T₁

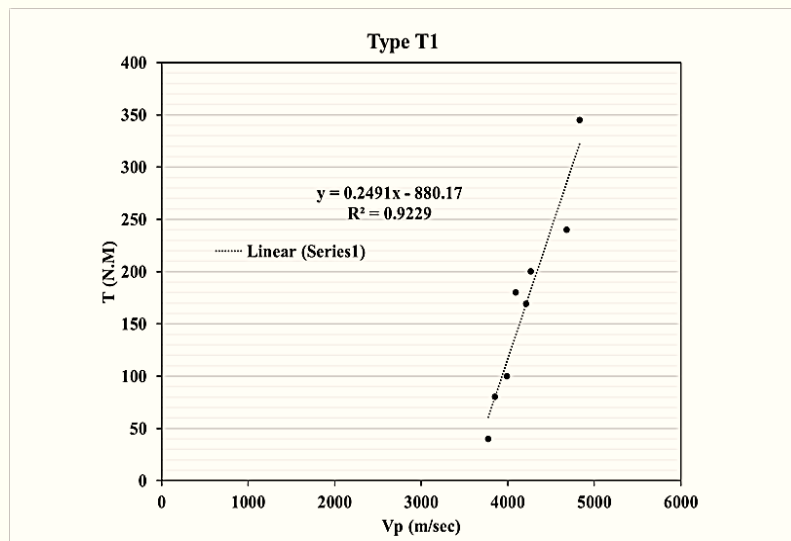
نوع نمونه	محدوده قابل قبول (%)	رابطه تجربی	نوع رابطه	ضریب تعیین (R ²)
T ₁	۰/۳۹-۰/۳۱	$T = 19348 Iv24^2 - 14651 Iv24 + 2911.8$	چند جمله‌ای	۰/۰۹۴۵
T ₂	۰/۲۳-۰/۱۹۱	$T = 376451e^{-36/99 Iv24}$	نمایی	۰/۸۵۴
T ₃	۰/۲۰-۰/۱۶	$T = -75441 Iv24^2 + 19009 Iv24 - 723/57$	چند جمله‌ای	۰/۸۱۲۸
T ₄	۰/۲۹-۰/۱۶	$T = 2378/8 Iv24^2 - 4830/6 Iv24 + 1195$	چند جمله‌ای	۰/۸۷۹۸
T ₅	۰/۱۴-۰/۱۲	$T = 38660.3 Iv24^2 - 110194 Iv24 + 8172/8$	چند جمله‌ای	۰/۵۴۷۳
T ₆	۰/۱۲-۰/۰۸	$T = 76623 Iv24^2 - 19227 Iv24 + 1233/3$	چند جمله‌ای	۰/۹۷۲۱
T ₇	۰/۲۱-۰/۱۸	$T = -2200.8 Iv24 + 7229/9 Iv24 - 50.4$	چند جمله‌ای	۰/۹۷۵۸
کل نمونه‌ها	۰/۱۰۹-۰/۳۴	$T = 698/67 Iv24^{1.066}$	توانی	۰/۴۳۴۶

جدول ۱۰: پارامترهای حاصل برای مقاومت لنگر پیچشی و درصد جذب آب ۲۴ ساعته

❖ آزمون پیچش و رابطه آن با پارامترهای مکانیکی

ارزش شاخص‌های مکانیکی همواره در طرح‌های مهندسی مشخص بوده است. از این رو بررسی این شاخص‌ها، از اولویت‌های مهم مهندسين در امور اجرایی می‌باشد.

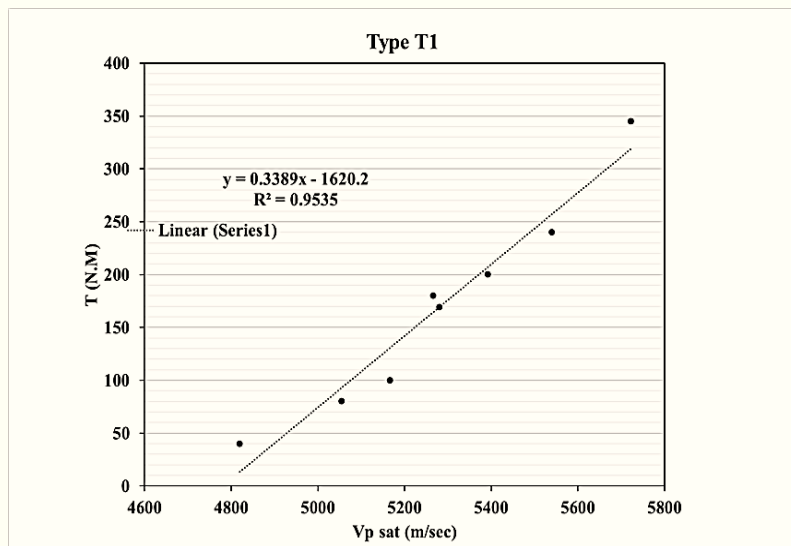
– **مقاومت لنگر پیچشی و سرعت سیر موج فشاری:** آزمایش سرعت نشر موج فشاری به دو صورت خشک و اشباع انجام گردید. برپایه آزمایش انجام شده و طبقه بندی آنون (۱۹۷۹)، این نتیجه حاصل گشت که در حالت خشک سرعت سیر موج فشاری در سه گروه سرعت خیلی زیاد با اعداد بیش از 5000 m/s ، **سرعت زیاد** با اعداد 4000 m/s – 5000 m/s و **سرعت متوسط** با اعداد 3500 – 4000 قرار می‌گیرد؛ و در حالت اشباع سرعت نشر این موج در دو گروه با **سرعت زیاد** و خیلی زیاد قرار می‌گیرد. بر پایه اعداد حاصل از این آزمایش و نمودارهای ترسیم شده با افزایش مقاومت نمونه سرعت نشر موج فشاری نیز در آن افزایش می‌یابد.



نوع نمونه	محدوده قابل قبول (m/sec)	رابطه تجربی	نوع رابطه	ضریب تعیین (R ²)
T1	۳۷۷۸/۰۹ - ۴۸۳۰/۷۹	$T = 0.2491 V_{pd} - 880.17$	خطی	۰/۹۲۲۹
T2	۴۸۸۵/۹۳ - ۴۸۹۷/۷۲	$T = 2E - 289e^{1/1411} V_{pd}$	نمایی	۰/۸۴۰۷
T3	۴۹۰۰/۳۰ - ۵۴۳۸/۷۰	$T = 4E - 0.9e^{1/1046} V_{pd}$	نمایی	۰/۷۹۷۹
T4	۵۳۱۳/۳۳ - ۶۶۸۲/۴۱	$T = 0.0003 V_{pd}^2 - 3/6669 V_{pd} + 10159$	چند جمله‌ای	۰/۹۴۸
T5	۶۳۸۲/۶۹ - ۶۴۶۷/۶۱	$T = 0.0242 V_{pd}^2 - 308/56 V_{pd} + 985684$	چند جمله‌ای	۰/۹۳۰۱
T6	۶۵۱۰/۲۴ - ۶۹۰۳/۹۵	$T = 0.0013 V_{pd}^2 - 17/0.73 V_{pd} + 56523$	چند جمله‌ای	۰/۸۴۱۳
T7	۵۷۵۶/۳۶ - ۶۱۱۵/۱۷	$T = 7E - 0.5 V_{pd}^2 - 0.7547 V_{pd} + 1923/4$	چند جمله‌ای	۰/۹۹۷۸

شکل ۳۸: نمودار سرعت نشر موج فشاری در حالت خشک و مقاومت لنگر پیچشی میگماتیت نوع T₁

جدول ۱۱: مقادیر مقاومت لنگر پیچشی و سرعت نشر موج فشاری در حالت خشک

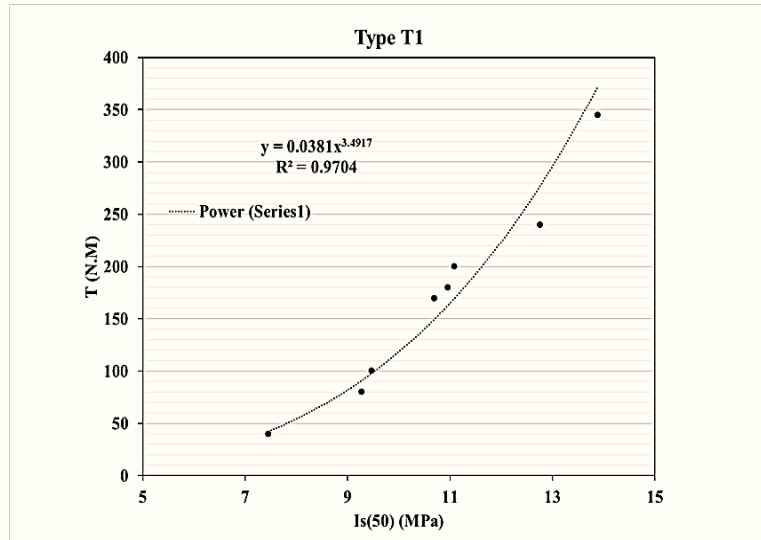


نوع نمونه	محدوده قابل قبول (m/sec)	رابطه تجربی	نوع رابطه	ضریب تعیین (R ²)
T1	۴۸۱۹/۸۵-۵۷۲۲/۳۱	$T=۰/۳۳۸۹ Vp_{sat} - ۱۶۲۰/۲$	خطی	۰/۹۵۳۵
T2	۵۷۷۲/۳۲-۲۹۲۱/۶۵	$T= -۰/۰۰۵۹ Vp_{sat}^۲ + ۷۱/۳۰۹ Vp_{sat} - ۲۱۴۴۷۷$	چند جمله‌ای	۰/۹۵۹
T3	۵۷۵۲/۱۷-۶۰۲۱/۴۲	$T=۰/۰۰۵ Vp_{sat}^۲ - ۶۵/۳۱۶ Vp_{sat} + ۱۸۸۴۲۵$	چند جمله‌ای	۰/۸۱
T4	۶۰۸۴/۲۸-۶۹۸۰/۱۰	$T=۰/۰۰۰۸ Vp_{sat}^۲ - ۱۰/۲۵ Vp_{sat} + ۳۱۹۳۴$	چند جمله‌ای	۰/۸۵۰۴
T5	۶۵۰۷/۸۴-۶۶۲۵/۳۶	$T=۸E - ۵۳ Vp_{sat}^{۱۴/۳۱۵}$	توانی	۰/۴۷۰۲
T6	۶۷۱۷/۱۷-۶۸۶۱/۵۸	$T=۰/۰۰۷ Vp_{sat}^۲ - ۹۴/۹۶۳ Vp_{sat} + ۳۱۹۹۸۸$	چند جمله‌ای	۰/۹۵۴۹
T7	۶۳۲۵/۸۰-۶۴۶۱/۳۲	$T= -۰/۰۰۴۲ Vp_{sat}^۲ + ۵۴/۱۰۱ Vp_{sat} - ۱۷۳۷۰۹$	چند جمله‌ای	۰/۷۲۰۸

شکل ۴۰: نمودار سرعت نشر موج فشاری در شرایط اشباع و مقاومت لنگر پیچشی میگماتیت نوع T₁

جدول ۱۲: مقادیر متوسط مقاومت لنگر پیچشی و سرعت نشر موج فشاری در حالت اشباع

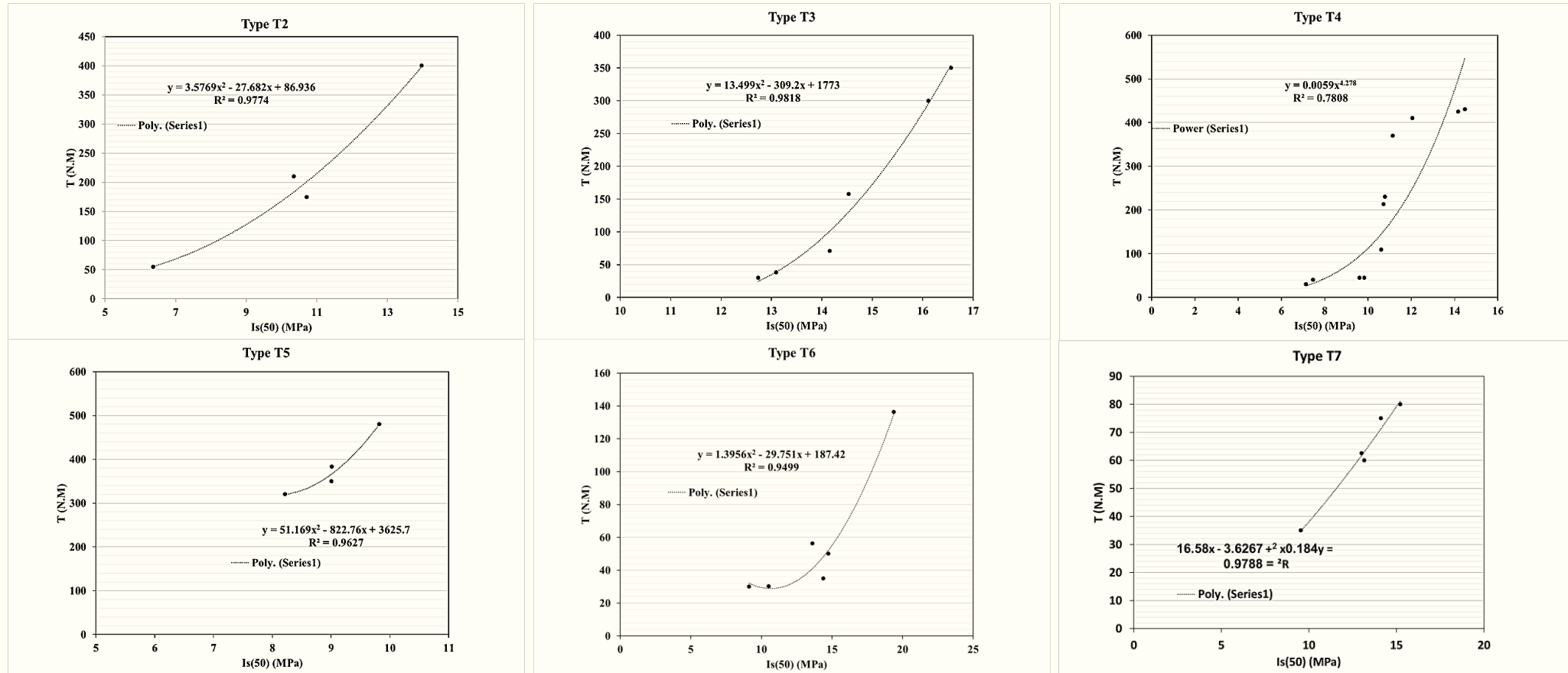
- مقاومت لنگر پیچشی و شاخص مقاومت بار نقطه‌ای: ارزیابی‌ها حاکی از آن بود که، برپایه رده بندی دیر (۱۹۶۸) برای مقاومت بار نقطه‌ای، اغلب نمونه‌ها در گروه A با عدد مقاومت بیش از ۱۰ MPa یعنی مقاومت خیلی بالا قرار دارند و برخی از نمونه‌ها در گروه B با عدد مقاومت ۵-۱۰ MPa یعنی مقاومت بالا قرار دارند.



شکل ۴۲: ارتباط میان مقاومت لنگر پیچشی و مقاومت بار نقطه‌ای میگماتیت نوع T₁

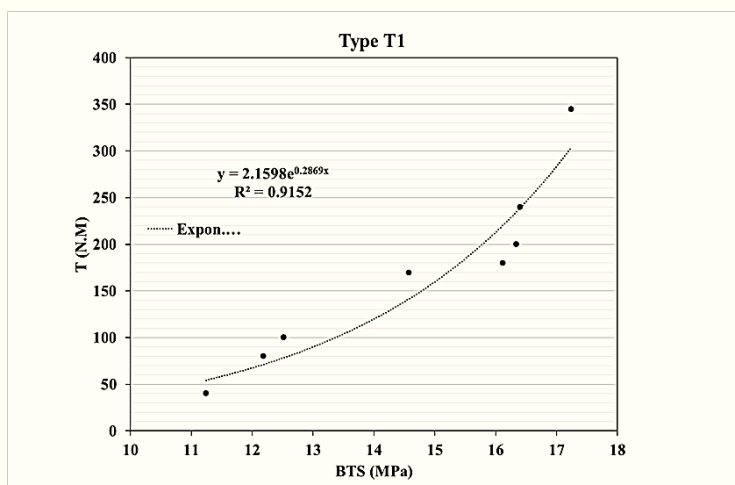
نوع نمونه	محدوده قابل قبول (MPa)	رابطه تجربی	نوع رابطه	ضریب تعیین (R ²)
T1	۷/۴۵-۱۳/۸۸	$T=۰/۰۳۸۱ I_s(50)^{۳/۴۹۱۷}$	توانی	۰/۹۷۰۴
T2	۶/۳۶-۱۳/۹۷	$T=۳/۵۷۶۹ I_s(50)^2 - ۲۷/۶۸۲ I_s(50) + ۸۶/۹۳۶$	چند جمله‌ای	۰/۹۷۷۴
T3	۱۲/۷۳-۱۶/۵۶	$T=۱۳/۴۹۹ I_s(50)^2 - ۳۰۹/۲ I_s(50) + ۱۷۷۲$	چند جمله‌ای	۰/۹۸۱۸
T4	۷/۱۳-۱۴/۴۷	$T=۰/۰۰۵۹ I_s(50)^{۴/۲۷۸}$	توانی	۰/۷۸۰۸
T5	۸/۲۱-۹/۸۱	$T=۵۱/۱۶۹ I_s(50)^2 - ۸۲۲/۷۶ I_s(50) + ۳۶۲۵/۷$	چند جمله‌ای	۰/۹۶۲۷
T6	۹/۱۳-۱۹/۳۸	$T=۱/۳۹۵۶ I_s(50)^2 - ۲۹/۷۵۱ I_s(50) + ۱۸۷/۴۲$	چند جمله‌ای	۰/۹۴۹۹
T7	۹/۵۴-۱۵/۲۲	$T=۰/۱۸۴ I_s(50)^2 + ۳/۶۲۶۷ I_s(50) - ۱۶/۵۸$	چند جمله‌ای	۰/۹۷۸۸

جدول ۱۳: مقادیر محاسبه شده برای مقاومت لنگر پیچشی و مقاومت بار نقطه‌ای



شکل ۴۳: ارتباط میان مقاومت لنگر پیچشی و مقاومت بار نقطه‌ای میگماتیت نوع T2-T7

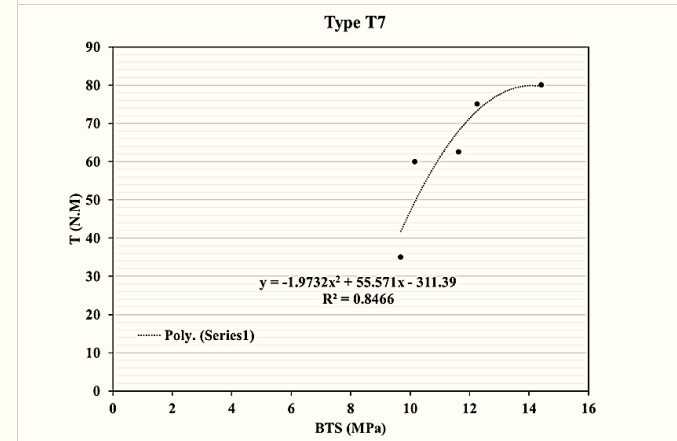
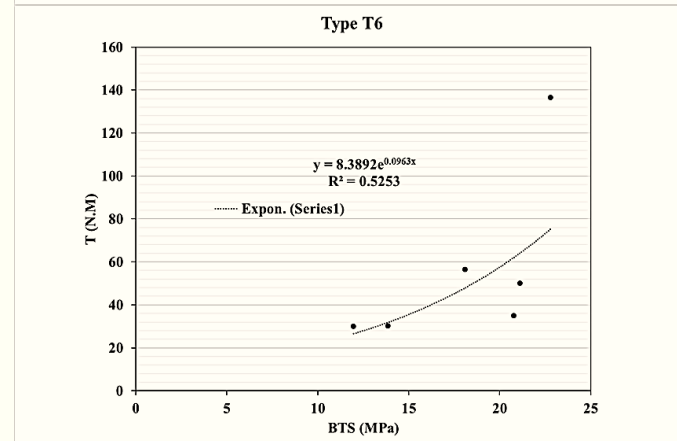
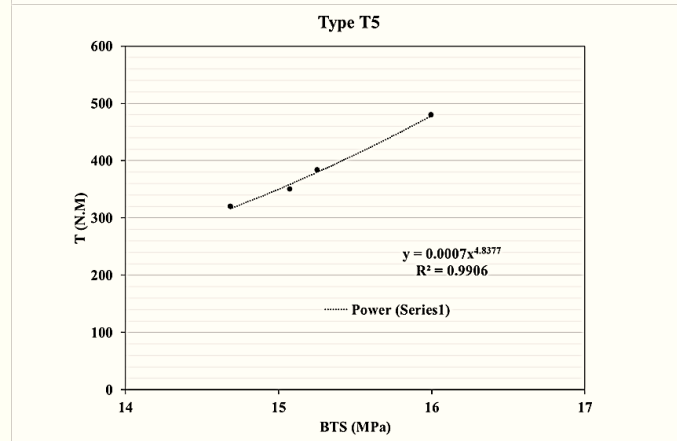
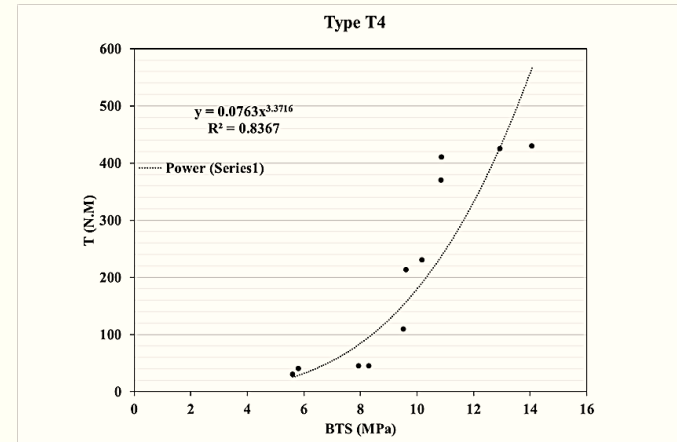
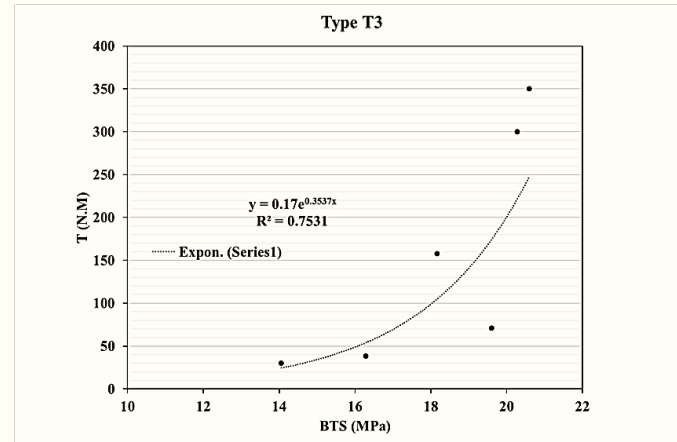
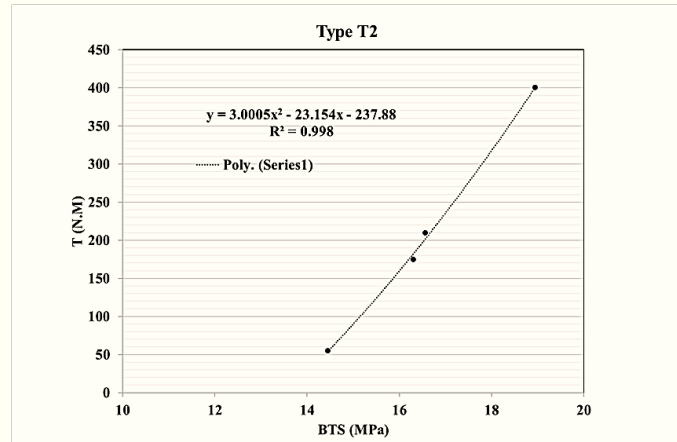
- **مقاومت لنگر پیچشی و مقاومت کششی غیر مستقیم:** بررسی‌ها حاکی از آن است که این پارامتر با مقاومت لنگر پیچشی رابطه مستقیم داشته و با روند افزایشی این پارامتر، مقاومت لنگر پیچشی نیز دارای روند افزایشی خواهد بود.



نوع نمونه	محدوده قابل قبول (MPa)	رابطه تجربی	نوع رابطه	ضریب تعیین (R ²)
T1	۱۱/۲۴- ۱۷/۲۴	$T = ۲/۹۸۱۵e^{۰/۲۸۶۹BTS}$	نمایی	۰/۹۱۵۲
T2	۱۴/۴۴- ۱۸/۹۴	$T = ۳/۰۰۰۵BTS^۲ - ۲۳/۱۵۴BTS - ۲۳۷/۸۸$	چند جمله‌ای	۰/۹۹۸
T3	۱۴/۰۵- ۲۰/۶۰	$T = ۰/۱۷e^{۰/۲۵۲۷BTS}$	نمایی	۰/۷۵۳۱
T4	۵/۶۰- ۱۴/۰۷	$T = ۰/۰۷۶۳BTS^{۲/۲۷۱۶}$	توانی	۰/۸۳۶۷
T5	۱۴/۶۸- ۱۵/۹۹	$T = ۰/۰۰۰۷BTS^{۴/۸۲۷۷}$	توانی	۰/۹۹۰۶
T6	۱۱/۹۷- ۲۲/۷۹	$T = ۸/۳۸۹۲e^{۰/۰۹۶۳BTS}$	نمایی	۰/۵۲۵۳
T7	۹/۶۸- ۱۴/۴۱	$T = -۱/۹۷۳۲BTS^۲ + ۵۵/۵۷۱BTS - ۳۱۱/۳۹$	چند جمله‌ای	۰/۸۴۶۶

شکل ۴۴: ارتباط بین مقاومت لنگر پیچشی و مقاومت کششی غیر مستقیم میگماتیت نوع T₁

جدول ۱۴: ارقام حاصل برای لنگر مقاومت پیچشی و آزمون برزلی

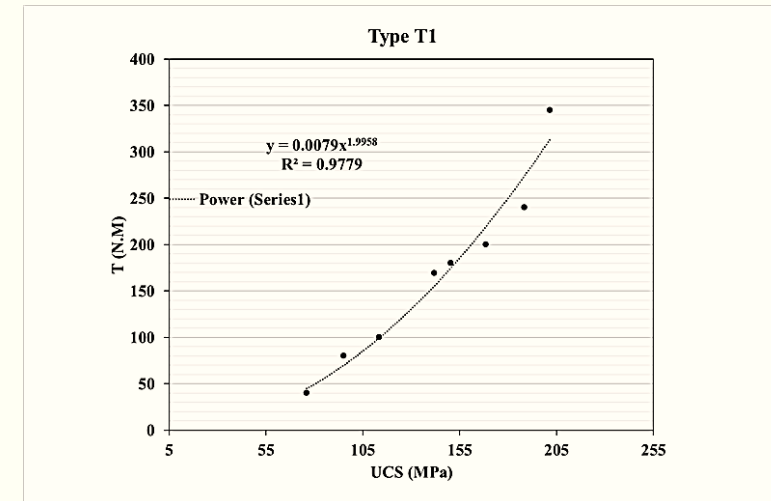


شکل ۴۴: ارتباط بین مقاومت لنگر پیچشی و مقاومت کششی غیر مستقیم میگماتیت نوع T2-T7

– **مقاومت لنگر پیچشی و مقاومت فشاری تک محوری:** غالب نمونه‌های این مطالعه در گروه BL جای دارند که معرف سنگ‌هایی با **مقاومت بالا** و نسبت مدولی **پایین** است. با توجه به داده‌های حاصل، مقاومت فشاری تک محوری دارای ارتباط مستقیم با مقاومت لنگر پیچشی می‌باشد.

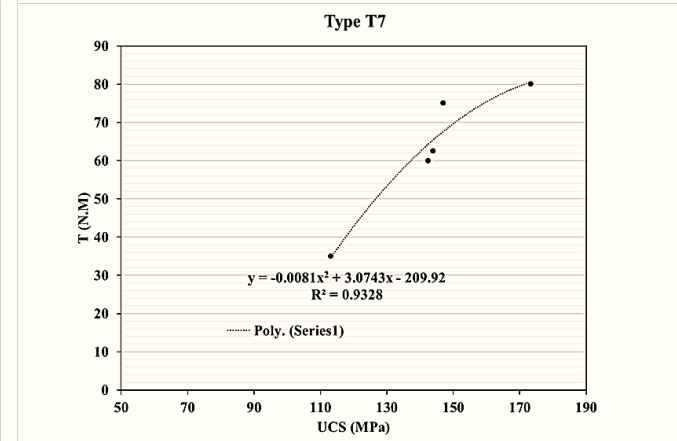
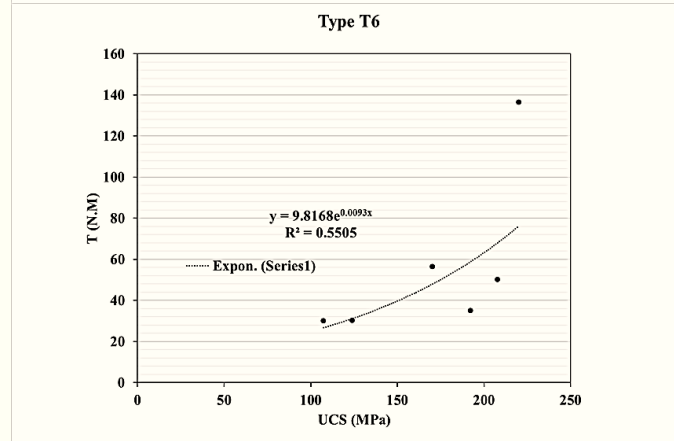
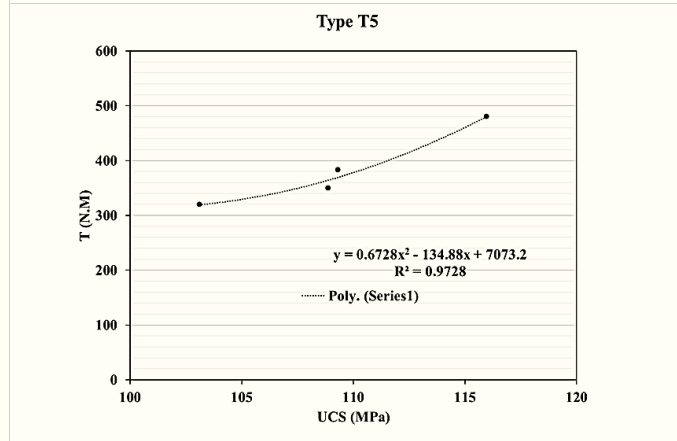
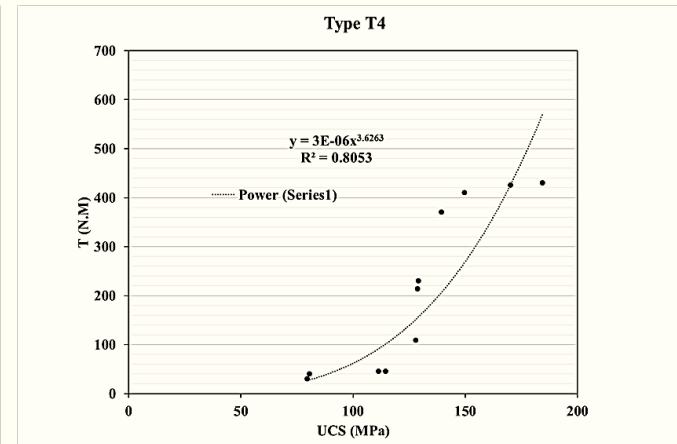
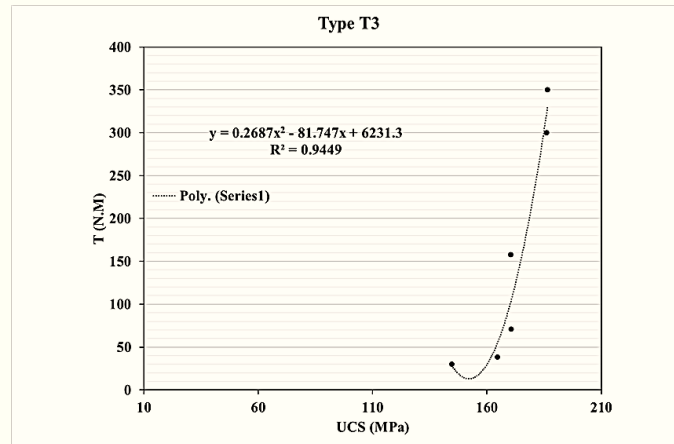
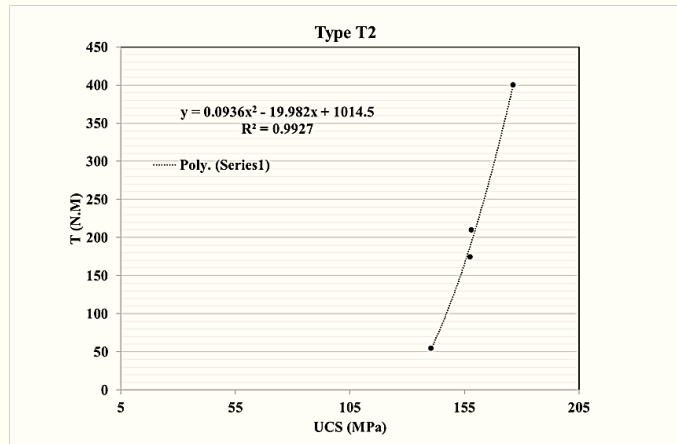
نوع نمونه	محدوده قابل قبول (MPa)	رابطه تجربی	رابطه تجربی	ضریب تعیین (R ²)
T1	۷۶/۱۰- ۲۰۱/۶۶	$T = ۰/۰۰۷۹ \text{ USC}^{۱/۰۹۵۸}$	توانی	۰/۹۷۷۹
T2	۱۴۰/۵۰- ۱۷۶/۳۰	$T = ۰/۰۹۳۶ \text{ USC}^۲ - ۱۹/۹۸۲ \text{ USC} + ۱۰۱۴/۵$	چند جمله‌ای	۰/۹۹۲۷
T3	۱۴۴/۶۴- ۱۸۶/۵۳	$T = ۰/۲۶۸۷ \text{ USC}^۲ - ۸۱/۷۴۷ \text{ USC} + ۶۲۳۱/۳$	چند جمله‌ای	۰/۹۴۴۹
T4	۷۹/۶۴- ۱۸۴/۵۲	$T = ۳E-۰۶ \text{ USC}^{۱/۰۶۴۳}$	توانی	۰/۸۰۵۳
T5	۱۰۳/۱۰- ۱۱۵/۹۶	$T = ۰/۶۷۲۸ \text{ USC}^۲ - ۱۳۴/۸۸ \text{ USC} + ۷۰۷۳/۲$	چند جمله‌ای	۰/۹۷۲۸
T6	۱۰۷/۳۶- ۲۲۰/۲۰	$T = ۹/۸۱۶۸ e^{۰/۰۰۹۳ \text{ USC}}$	نمایی	۰/۵۵۰۵
T7	۱۱۳/۱۰- ۱۷۳/۲۸	$T = -۰/۰۰۸۱ \text{ USC}^۲ + ۰/۰۷۴۳ \text{ USC} -$	چند جمله‌ای	۰/۹۳۲۸

۲۰۹/۹۲



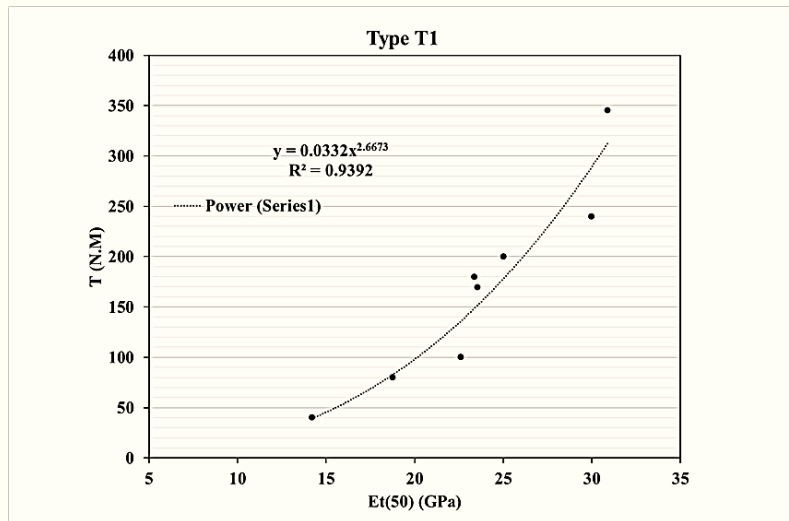
جدول ۱۵: مقادیر حاصل از بررسی‌ها برای مقاومت لنگر پیچشی و مقاومت فشاری تک محوری

شکل ۴۵: رابطه بین مقاومت لنگر پیچشی و مقاومت فشاری تک محوری میگماتیت نوع T₁



شکل ۴۵: رابطه بین مقاومت لنگر پیچشی و مقاومت فشاری تک محوری میگماتیت نوع T2-T7

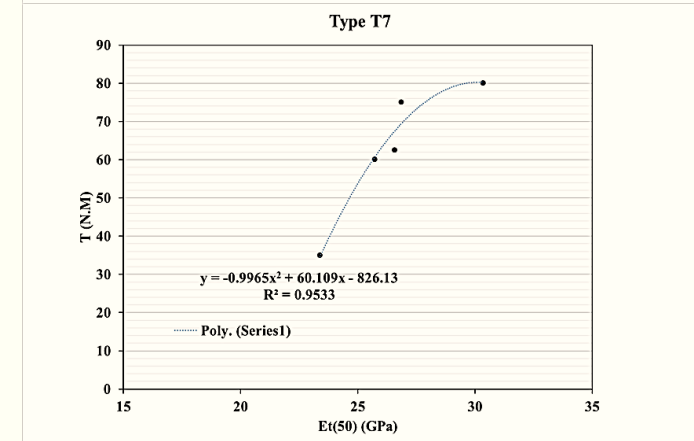
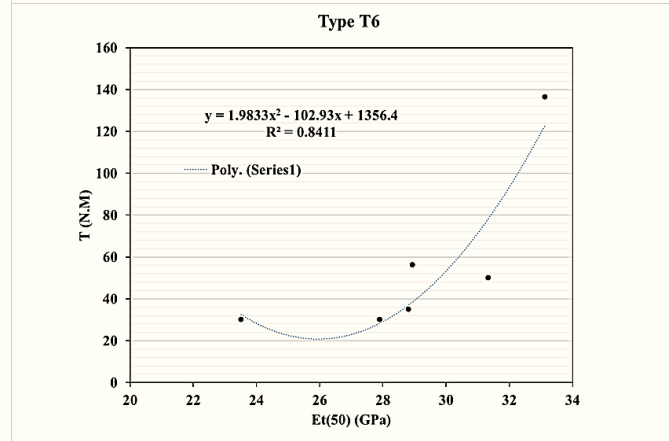
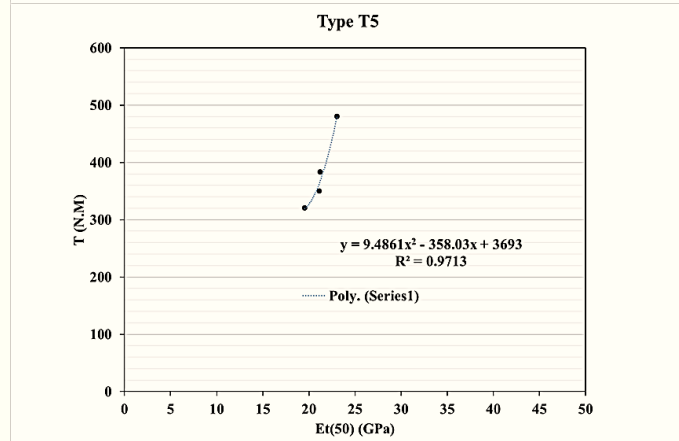
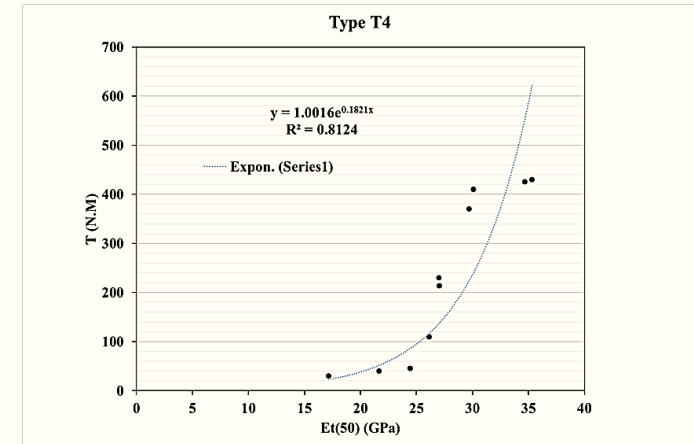
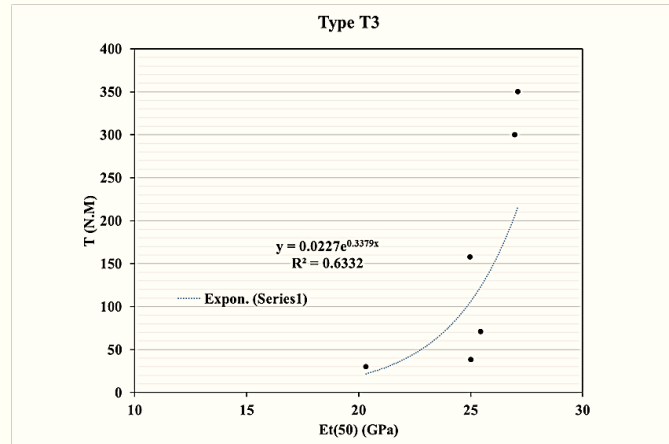
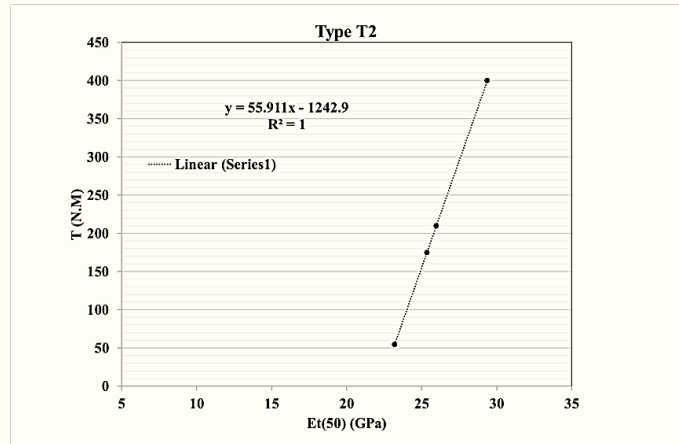
– مقاومت لنگر پیچشی و مدول‌های مماسی (E_t) و متقاطع (E_s): ارزیابی‌های صورت گرفته حاکی از آن است که بین مقاومت لنگر پیچشی و مدول‌های مماسی و متقاطع ارتباط مستقیم به صورت صعودی وجود دارد.



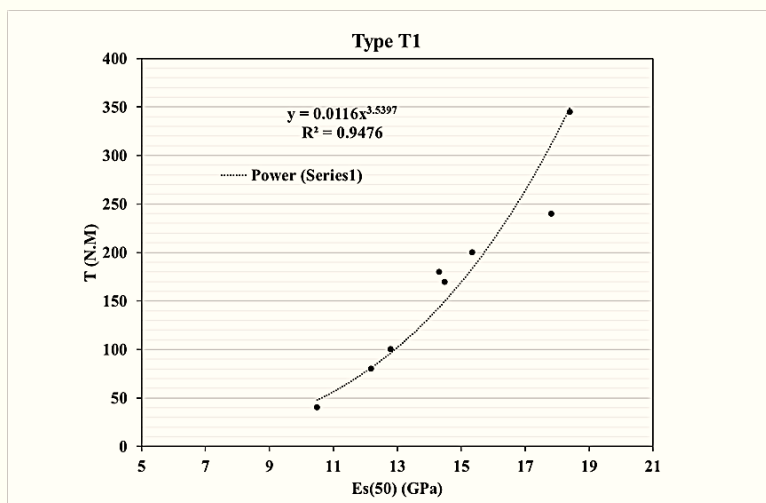
نوع نمونه	حدود قابل قبول (GPa)	ارتباط تجربی	نوع ارتباط	ضریب تعیین (R^2)
T1	۱۴/۲۱-۳۰/۹۰	$T=۰/۰۰۲۳۲۲Et^{۲/۶۶۷۳}$	توانی	۰/۹۳۹۲
T2	۲۳/۲۱-۲۹/۳۸	$T=۵۵/۹۱۱Et-۱۲۴۲/۹$	خطی	۱
T3	۲۰/۳۲-۲۷/۱۰	$T=۰/۰۰۲۲e^{۰/۳۳۷۹Et}$	نمایی	۰/۶۳۳۲
T4	۱۶/۱۷-۳۵/۳۲	$T=۱/۰۰۱۶e^{۰/۱۸۲۱Et}$	نمایی	۰/۸۱۲۴
T5	۱۹/۵۷-۲۳/۰۴	$T=۹/۸۸۱Et^۲-۳۵۸/۰۳Et+۳۶۹۳$	چند جمله‌ای	۰/۹۷۱۳
T6	۲۳/۵۲-۳۳/۱۲	$T=۱/۹۸۳۳Et^۲-۱۰۲/۹۳Et+۱۳۵۶/۴$	چند جمله‌ای	۰/۸۴۱۱
T7	۲۳/۳۹-۲۰/۳۴	$T=-۰/۹۹۶۵Et^۲+۶۰/۱۰۹Et-۸۲۶/۱۳$	چند جمله‌ای	۰/۹۵۳۳

شکل ۴۶: ارتباط مقاومت لنگر پیچشی و مدول مماسی (E_t) میگماتیتهای نوع T_1

جدول ۱۶: پارامترهای محاسبه شده برای ارتباط مقاومت لنگر پیچشی و مدول مماسی



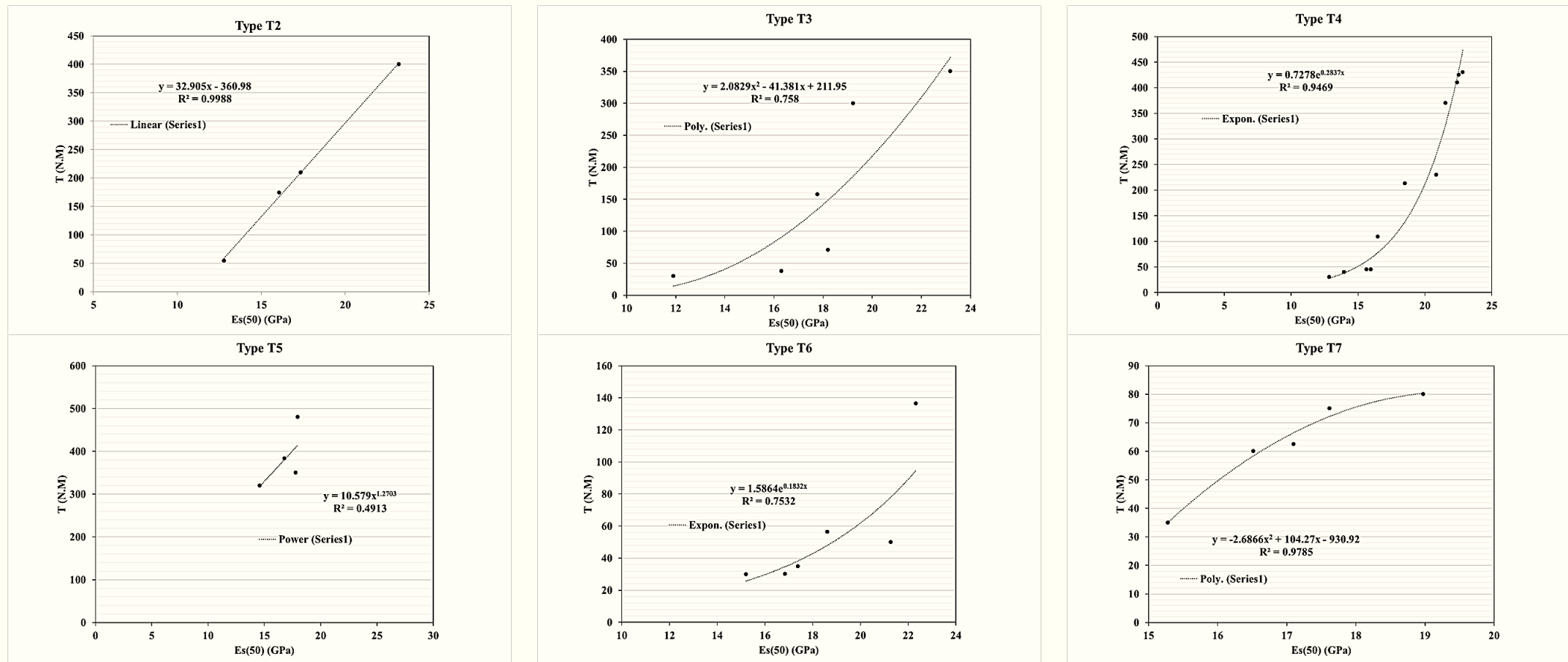
شکل ۴۷: ارتباط مقاومت لنگر پیچشی و مدول مماسی (E_t) میگماتیت‌های نوع T2-T7



شکل ۴۸: رابطه مقاومت لنگر پیچشی و مدول متقاطع میگماتینهای نوع T_1 (E_s)

نوع نمونه	حدود قابل قبول (GPa)	ارتباط تجربی	نوع رابطه	ضریب تعیین (R^2)
T1	۱۰/۴۸- ۱۸/۴۰	$T=۰/۰۱۱۶E_s^{۳/۵۳۹۷}$	توانی	۰/۹۴۷۶
T2	۱۲/۷۶- ۲۳/۱۹	$T=۳۲/۹۰۵ E_s -۳۶۰/۹۸$	خطی	۰/۹۹۸۸
T3	۱۱/۹۰- ۲۳/۱۸	$T=۲/۰۸۲۹ E_s^۲ -۴۱/۳۸۱ E_s +۲۱۱/۹۵$	چند جمله‌ای	۰/۷۵۸
T4	۱۲/۸۴- ۲۲/۸۳	$T= ۰/۷۲۷۸e^{-۰/۲۸۳۷ E_s}$	نمایی	۰/۹۴۶۹
T5	۱۴/۵۸- ۱۷/۹۶	$T=۱۰/۵۷۹ E_s^{۱/۲۷۰۳}$	توانی	۰/۴۹۱۳
T6	۱۵/۲۱- ۲۲/۳۳	$T= ۱/۵۸۶۴e^{۰/۱۸۳۲ E_s}$	نمایی	۰/۷۵۳۲
T7	۱۵/۲۷- ۱۸/۹۷	$T= -۲/۶۸۶۶ E_s^۲ +۱۰۴/۲۷E_s -۹۳۰/۹۲$	چند جمله‌ای	۰/۹۷۸۵

جدول ۱۷: پارامترهای حاصل شده برای نسبت مقاومت لنگر پیچشی و مدول متقاطع



شکل ۴۹: رابطه مقاومت لنگر پیچشی و مدول متقاطع (E_s) میگماتیتهای نوع T2-T7

فصل هفتم: نتیجه گیری و پیشنهادها

❖ نتیجه گیری

- نتایج بررسی بلوک‌های سنگی و مقاطع نازک نشان داد که سنگ‌های مورد مطالعه اساسا دارای بافت **گرانولار** (دانه‌ای) ریز تا متوسط دانه می‌باشند.
- طبقه بندی آنون (۱۹۷۹) حاکی از آن است که میگماتیت‌های منطقه دارای وزن واحد حجم خشک **بالا** و درصد تخلخل خیلی **کم** می‌باشند.
- سرعت سیر موج فشاری در حالت کلی برای هر دو حالت **اشباع** و خشک زیاد است و به سبب آن سنگ در گروه‌هایی با سرعت نشر موج خیلی زیاد و زیاد جای می‌گیرند.

- نتایج آزمون بارنقطه‌ای نشان داد که برپایه هر سه طبقه بندی دیر (۱۹۶۷)، بنیاوسکی (۱۹۷۹) و براش و فرانکلین (۱۹۷۲)، نمونه‌های میگماتیتهی غالباً در گروه A با عدد مقاومتی بیش از ۱۰ MPa جای دارند؛ که نشان‌دهنده **مقاومت بالای** نمونه‌های سنگی می‌باشد.
- داده‌های حاصل از آزمون مقاومت فشاری تک محوری نشان داد که طبق رده بندی دیر و میلر (۱۹۶۶)، اکثر نمونه‌های موجود، در گروه B با **مقاومت بالا** (۱۱۰-۲۲۱ MPa) قرار دارند و برخی از نمونه‌ها در گروه C با مقاومت متوسط (۵۵-۱۱۰ Mpa) واقع شده اند.
- با توجه به رابطه مستقیم لنگر پیچشی و زاویه پیچش، بیشترین میزان مقاومت لنگر پیچشی برای نمونه‌های میگماتیتهی در زاویه ۲۰/۱۶ درجه قرار داشت و کمترین میزان آن به زاویه ۱/۲۶ درجه تعلق گرفت.

- بررسی گسیختگی‌های حاصل از آزمون پیچش حاکی از این بود که نمونه‌ها اغلب به صورت **کششی** و **برشی** گسیخته شده اند. نیروی پیچش حاصل از این پژوهش دارای بیشینه 480 N.m و کمینه 30 N.m است.
- نوع رابطه غالب در میان پارامترهای فیزیکی و شاخص مقاومت لنگر پیچشی **چند جمله‌ای** و در موارد اندک نمایی، توانی و لگاریتمی می‌باشد. میزان ضریب تعیین (R^2) برای این گروه از پارامترها و شاخص پیچش در محدوده $0.7016 - 0.9958$ قرار دارد.
- روابط توانی، نمایی، چند جمله‌ای و خطی تشکیل دهنده روابط میان شاخص مقاومت لنگر پیچشی و پارامترهای مکانیکی سنگ‌های میگماتیت منطقه می‌باشند. برای پارامترهای مکانیکی و مقاومت لنگر پیچشی ضریب تعیین (R^2) در محدوده $0.4702 - 1$ به دست آمده است.
- با توجه به **دقت بالای** نتایج آزمون پیچش می‌تواند به جای سایر آزمون‌های مقاومتی اجرا گردد.

❖ پیشنهادها

- پیشنهاد می شود تا تاثیر درجه هوازدگی سنگ های میگماتیته بر رفتار مقاومت پیچشی آنها مورد مطالعه قرار گیرد.
- پیشنهاد می شود، مدلسازی عددی آزمایش پیچش برای سنگهای میگماتیته صورت گیرد.
- پیشنهاد می شود با نصب سنسورهای حساس، میزان تغییر شکل های پیچشی در مراحل اجرای آزمایش پیچش بر روی سنگها مطالعه گردد.
- پیشنهاد می شود ارتباط بین بافت سنگ های مختلف و آزمایش پیچش مورد بررسی قرار گیرد.
- پیشنهاد می شود همانند دیگر پارامترهای مهندسی سنگها، رده بندی مهندسی سنگها بر اساس نتایج آزمایش پیچش صورت گیرد.



کد اختصاصی: ۳۱۸۶۹-۱۲۲۰

دومین کنفرانس ملی

«مهندسی عمران، توسعه هوشمند و سیستم‌های پایدار»

۱۷ شهریور ۱۴۰۱ - دانشگاه گلستان



ارزیابی پارامترهای زمین‌شناسی مهندسی سنگ‌های میگماتیتهی کمپلکس تخت سلیمان (غرب زنجان)

سید داود محمدی^۱

^۱ دانشیار زمین‌شناسی مهندسی، دانشگاه بوعلی سینا همدان، d.mohammadi@basu.ac.ir

نیلوفر نجاره^۲

^۲ دانشجوی کارشناسی ارشد زمین‌شناسی مهندسی، دانشگاه بوعلی سینا همدان، n.najjareh@sci.basu.ac.ir

بهمن ساعدی^۳

^۳ دکتری زمین‌شناسی مهندسی، دانشگاه بوعلی سینا همدان، bahman.sacdi@yahoo.com

چکیده

درک ویژگی‌های زمین‌شناسی مهندسی توده های سنگی با ساختار پیچیده مانند میگماتیته ها در هر منطقه‌ای به آگاهی عمومی از زمین‌شناسی مهندسی آن منطقه کمک قابل توجه‌ای می‌نماید. در این مطالعه در خلال بررسی‌های آزمایشگاهی، جنبه‌های فیزیکی و مکانیکی میگماتیته‌های کمپلکس تخت سلیمان در محل روستای قره‌ناس مورد ارزیابی قرار گرفته است. نتایج حاصله حاکی از آن است که از نظر مقاومتی نمونه‌ها در درجه مقاومتی بالا تا خیلی بالا قرار دارند و در طبقه بندی دیر و میلر در گروه BL جای دارند. از جنبه ویژگی‌های فیزیکی، رده بندی آنون درصد تخلخل خیلی پایین و وزن واحد حجم خشک زیاد تا خیلی زیاد را برای این نمونه‌ها نشان می‌دهد. به طور کلی، با توجه به اینکه سنگ‌های ناهمگن و انیزوتروپ مانند میگماتیته ها دارای رفتار پیچیده ای هستند، در پروژه های عمرانی که نیاز به استفاده از میگماتیته ها می باشد، در حالت کاربرد میگماتیته های تازه و هوانزده، مقاومت مناسبی از آنها انتظار می رود.

کلمات کلیدی: تکاب، ویژگی فیزیکی، ویژگی مکانیکی، میگماتیته قره‌ناس

درانتهای امر از خانواده عزیزم به پاس حمایت‌های مداوم شان خالصانه متشکرم، همچنین از استاد راهنمای گرانقدرم آقای دکتر محمدی و استاد مشاور محترمم آقای دکتر ساعدی به پاس زحمات و تلاش‌های بیدریغ شان صمیمانه سپاسگزاری می‌نمایم، بعلاوه از حضور داوران محترم آقای دکتر حیدری و آقای دکتر شهبازی و ناظر محترم جلسه آقای دکتر امیری کمال تشکر و قدردانی را دارم؛ و در نهایت از دوستانم به پاس پشتوانه بودنشان صمیمانه متشکرم.



با تشکر از حسن توجه شما