

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

سید داود محمدی<sup>۱</sup>

<sup>۱</sup> دانشیار زمین‌شناسی مهندسی، دانشگاه بوعلی سینا همدان،

نیلوفر نجاره<sup>۲</sup>

<sup>۲</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد زمین‌شناسی مهندسی، دانشگاه بوعلی سینا همدان،

بهمن ساعدی<sup>۳</sup>

<sup>۳</sup> دکتری زمین‌شناسی مهندسی، دانشگاه بوعلی سینا همدان،

## □ چکیده

درک ویژگی‌های زمین‌شناسی مهندسی توده‌های سنگی با ساختار پیچیده مانند میگماتیت‌ها در هر منطقه‌ای به آگاهی عمومی از زمین‌شناسی مهندسی آن منطقه کمک قابل توجهی می‌نماید. در این مطالعه در خلال بررسی‌های آزمایشگاهی، جنبه‌های فیزیکی و مکانیکی میگماتیت‌های 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 میگماتیت‌ها دارای رفتار پیچیده‌ای هستند، در پروژه‌های عمرانی که نیاز به استفاده از میگماتیت‌ها می‌باشد، در حالت کاربرد میگماتیت‌های تازه و هوانزده، مقاومت مناسبی از آنها انتظار می‌رود.

## □ مقدمه

رابطه مستقیم طرح‌های عمرانی با مصالح و شالوده‌های سنگی، پژوهشگران را به مطالعه و ارزیابی پارامترهای زمین‌شناسی مهندسی سنگ‌ها واداشته است. با وجود مطالعات متعددی که بر روی سنگ‌های آذرین، دگرگونی و رسوبی صورت گرفته است، بر روی سنگ‌های میگماتیتی به دلیل ماهیت پیچیده‌ای که دارند مطالعات محدودی صورت گرفته است. در اغلب مطالعات صورت گرفته در کنار سنگ‌های دیگر به میگماتیت نیز پرداخته شده است. تنها مطالعه جامع زمین‌شناسی مهندسی انجام شده بر روی این گروه از سنگ‌ها در ایران توسط ساعدی (۱۳۹۸) [۱] در راستای رساله دکتری انجام شده است. این مطالعه که بر روی میگماتیت‌های زون سنندج سیرجان متمرکز بوده است، تاثیر بافت، ساخت و فابریک را بر روی رفتار مهندسی این سنگ‌ها بررسی نموده است.

کتابی (۱۳۹۱) [۲] در راستای پایان نامه کارشناسی ارشد خود بر روی میگماتیت‌های دره سیمین واقع در توده پلوتونیک الوند مطالعاتی را انجام داده است. در این پژوهش با توجه به وجود فابریک‌های مختلف، بر تبعیت ویژگی‌های مهندسی میگماتیت‌ها از ناهمگنی و ناهمسانی بافت سنگ، پرده برداشته شده است.

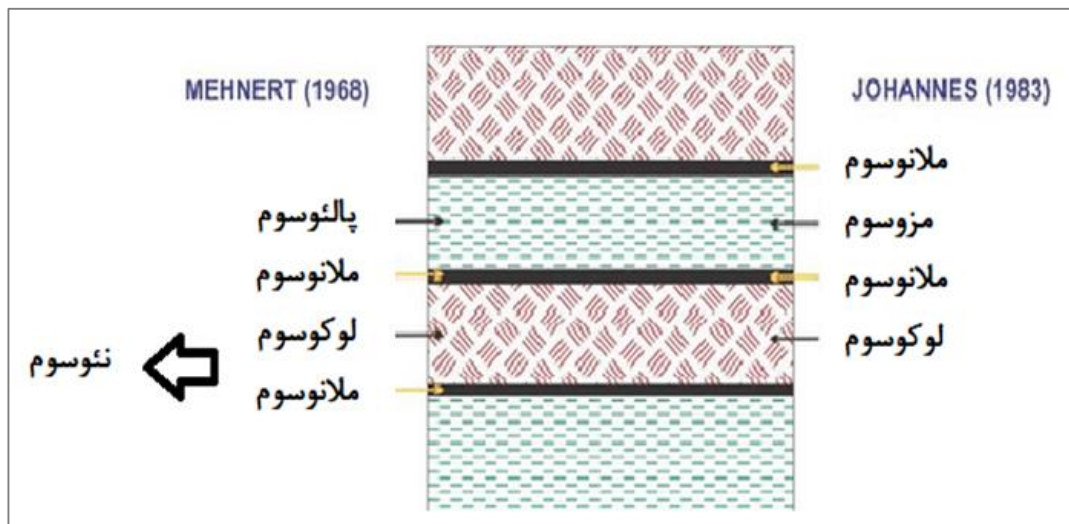
## □ زمین شناسی منطقه مورد مطالعه

مجموعه دگرگونی تخت سلیمان در شمال شرقی تکاب واقع در غرب زنجان، در تقسیم بندی ساختاری ایران در پهنه‌های سنندج - سیرجان [۳] و ایران مرکزی [۴] قرار دارد. میگماتیت‌های این ناحیه، در شمال شکستگی قوزلو - قره‌ناس و در اطراف روستای قره‌ناس رخنمون دارند (شکل ۱). مختصات جغرافیایی محدوده عبارت از  $۴۷^{\circ} ۲۷'$  تا  $۴۷^{\circ} ۳۰'$  طول شرقی و  $۳۶^{\circ} ۴۰'$  تا  $۳۶^{\circ} ۴۳'$  عرض شمالی بوده که از منظر بخش بندی‌های کشور در استان زنجان واقع شده است. واژه میگماتیت را نخستین بار زمین‌شناس فنلاندی، سدرهولم (۱۹۰۷) [نقل از ۵] بیان نمود. میگماتیت‌ها در اکثر دوره‌های زمین‌شناسی نمود دارند، در محیط‌های گوناگون تکتونیکی پخش شده‌اند و امکان دارد سنگ‌های مادر متفاوتی داشته باشند. برونزدهای میگماتیتی و پیچیدگی آن‌ها، برای زمین‌شناسان احتمال دارد تردید را به همراه داشته باشد [۵].

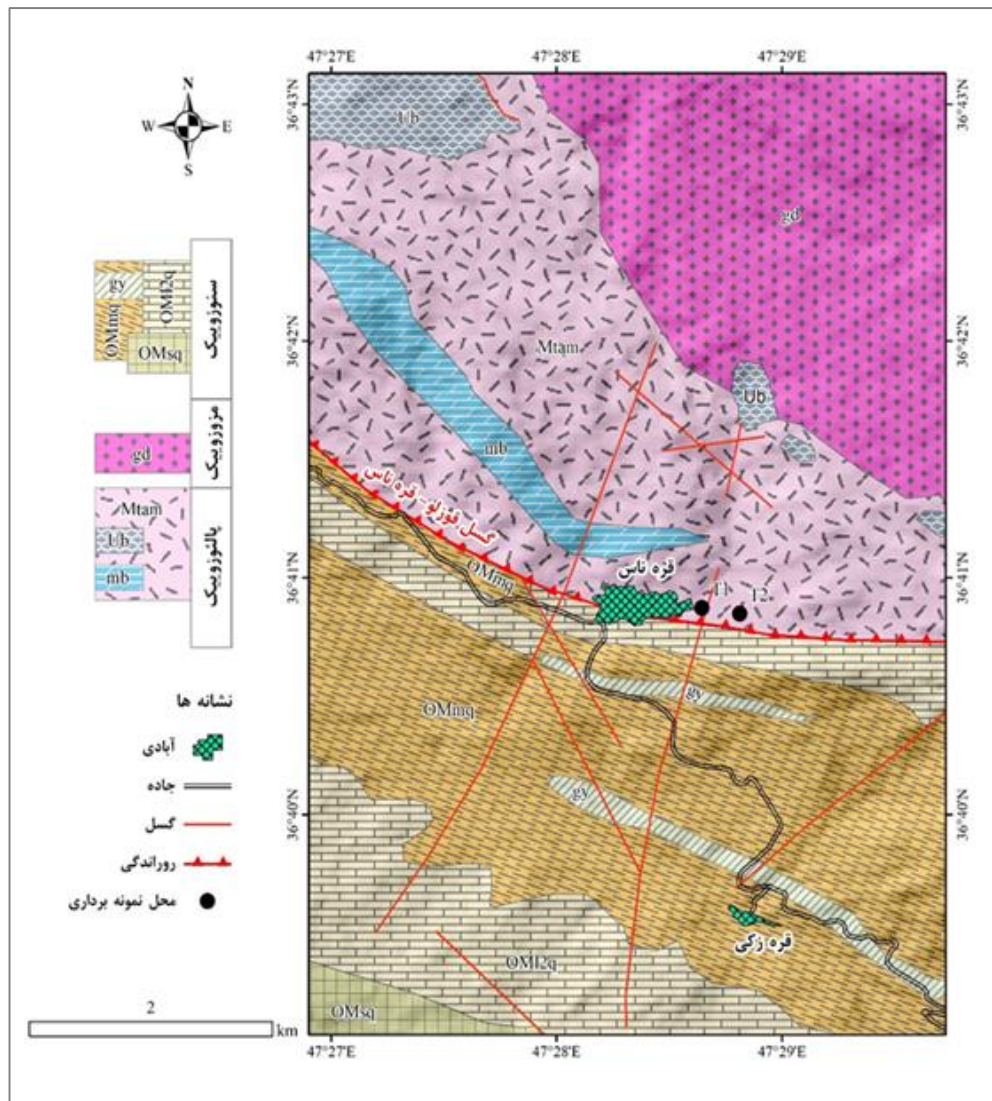
میگماتیت از بخش های متمایزی تشکیل شده است که این بخش ها در شکل (۲) نشان داده شده است و باعث پیچیدگی رفتاری آنها شده است [۶]. مطالعه این سنگ ها در سالهای جدید علاوه بر اثر بخشی در ایجاد پترولوژی سنگ های دگرگونی، به آگاهی از چگونگی و روند چیره بر پوسته نیز کمک نموده است. بنابراین پژوهش در زمینه میگماتیت ها همواره مورد توجه زمین شناسان بوده است [۶]. در این مطالعات به منظور آگاهی از پارامترهای زمین شناسی مهندسی سنگ های میگماتیت منطقه تخت سلیمان در غرب زنجان، بر روی نمونه های میگماتی، ارزیابی های سنگ شناسی و آزمایشگاهی صورت گرفته است.

## □ مواد و روش ها

پس از پیمایش های صحرائی، ۷ تیپ مختلف از بلوک های مناسب میگماتیت های منطقه جهت تهیه نمونه های استوانه ای از منطقه قره ناس برداشته شد. با آماده سازی نمونه های استوانه ای با قطر NX، شاخصه های فیزیکی نظیر درصد تخلخل، وزن واحد حجم (خشک و اشباع)، شاخص جذب آب و وزن مخصوص قسمت جامد و شاخصه های مکانیکی نظیر سختی و اجهشی اشمیت، سرعت سیر موج فشاری، شاخص مقاومت بار نقطه ای، مقاومت فشاری تک محوری و مقاومت کششی برزیلی بر مبنای استاندارد [ISRM نقل از ۷] تعیین گردید.



شکل ۲: اجزاء تشکیل دهنده میگماتیت‌ها [6]



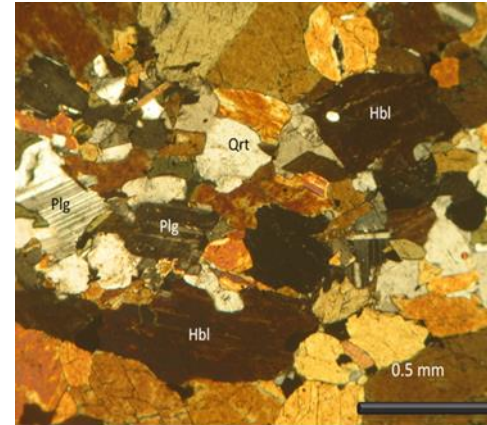
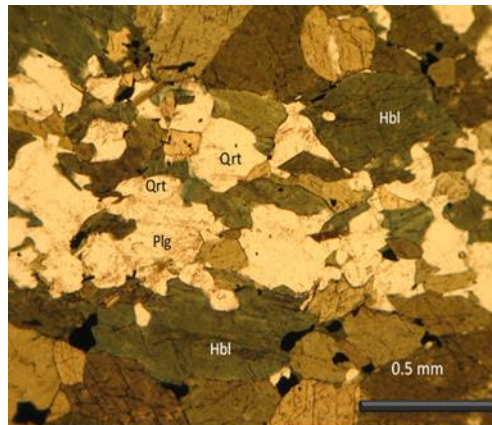
شکل ۱: نقشه زمین‌شناسی منطقه برگرفته از نقشه زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ برگه تخت سلیمان [۸]



## نتایج و بحث □

### - نتایج مطالعات سنگ شناسی

مقاطع نازکی از هفت بلوک جمع‌آوری شده از منطقه تهیه گردید و این مقاطع در آزمایشگاه سنگ‌شناسی دانشکده علوم پایه دانشگاه بوعلی سینا همدان مورد بررسی قرار گرفتند. بر اساس بررسی‌های صورت گرفته بر روی نمونه‌های میکروسکوپی قشرهای روشن غنی از کوارتز فلدسپار و قشرهای تیره رنگ غنی از هورنبلند در این میگماتیت‌ها مشاهده گردید (شکل ۳).



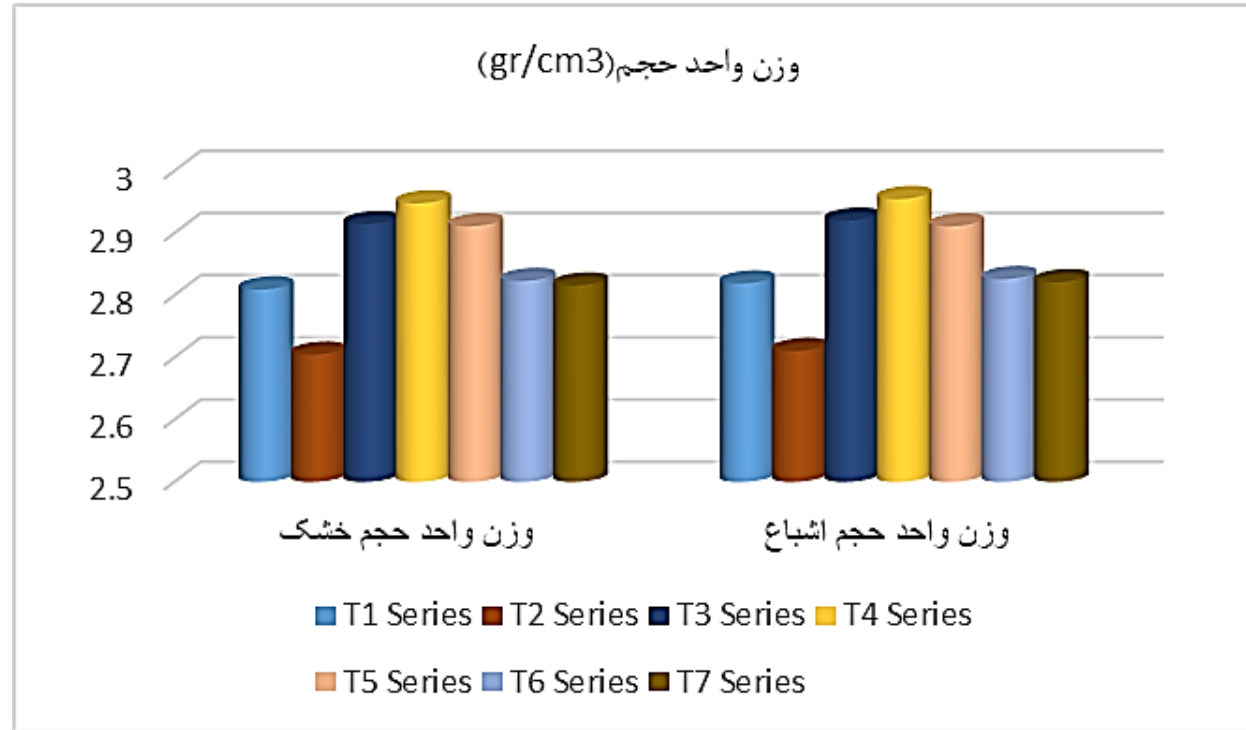
شکل ۳: نمونه‌ای از مقاطع بررسی شده در زیر میکروسکوپ. سمت راست نور XPL و سمت چپ نور PPL

## نتایج آزمایش تعیین وزن واحد حجم

نتایج حاصل از بررسی وزن واحد حجم در شرایط خشک و اشباع برای ۷ بلوک میگماتیسی در جدول ۱ و شکل ۴ ارائه شده است. همانطور که مشاهده می شود، مقدار وزن واحد حجم برای نمونه های تیپ ۴ بیشترین و برای تیپ ۲ کمترین مقدار می باشد.

جدول ۱: نتایج آزمون تعیین وزن واحد حجم

نمونه	$\gamma_d$ (gr/cm <sup>3</sup> )				$\gamma_{sat}$ (gr/cm <sup>3</sup> )			
	Max	Min	Ave	Sd	Max	Min	Ave	Sd
T1	۲/۹۳۰	۲/۷۵۲	۲/۸۰۹	۰/۰۵۶	۲/۹۳۹	۲/۷۶۴	۲/۸۱۹	۰/۰۵۶
T2	۲/۷۰۹	۲/۶۹۷	۲/۷۰۴	۰/۰۰۵	۲/۷۱۴	۲/۷۰۳	۲/۷۱۰	۰/۰۰۴
T3	۲/۹۲۹	۲/۸۹۷	۲/۹۱۴	۰/۰۱۱	۲/۹۳۵	۲/۹۰۲	۲/۹۲۰	۰/۰۱۱
T4	۳/۰۲۳	۲/۸۵۵	۲/۹۴۸	۰/۰۷۴	۳/۰۵۸	۲/۸۱۳	۲/۹۵۴	۰/۰۷۳
T5	۲/۹۳۱	۲/۸۹۲	۲/۹۱۱	۰/۰۱۶	۲/۹۳۵	۲/۸۹۶	۲/۹۱۱	۰/۰۱۶
T6	۲/۸۵۲	۲/۷۹۷	۲/۸۲۳	۰/۰۱۹	۲/۸۵۵	۲/۸۰۰	۲/۸۲۶	۰/۰۱۹
T7	۲/۸۱۹	۲/۸۱۱	۲/۸۱۵	۰/۰۰۳	۲/۸۲۴	۲/۸۱۶	۲/۸۲۱	۰/۰۰۳



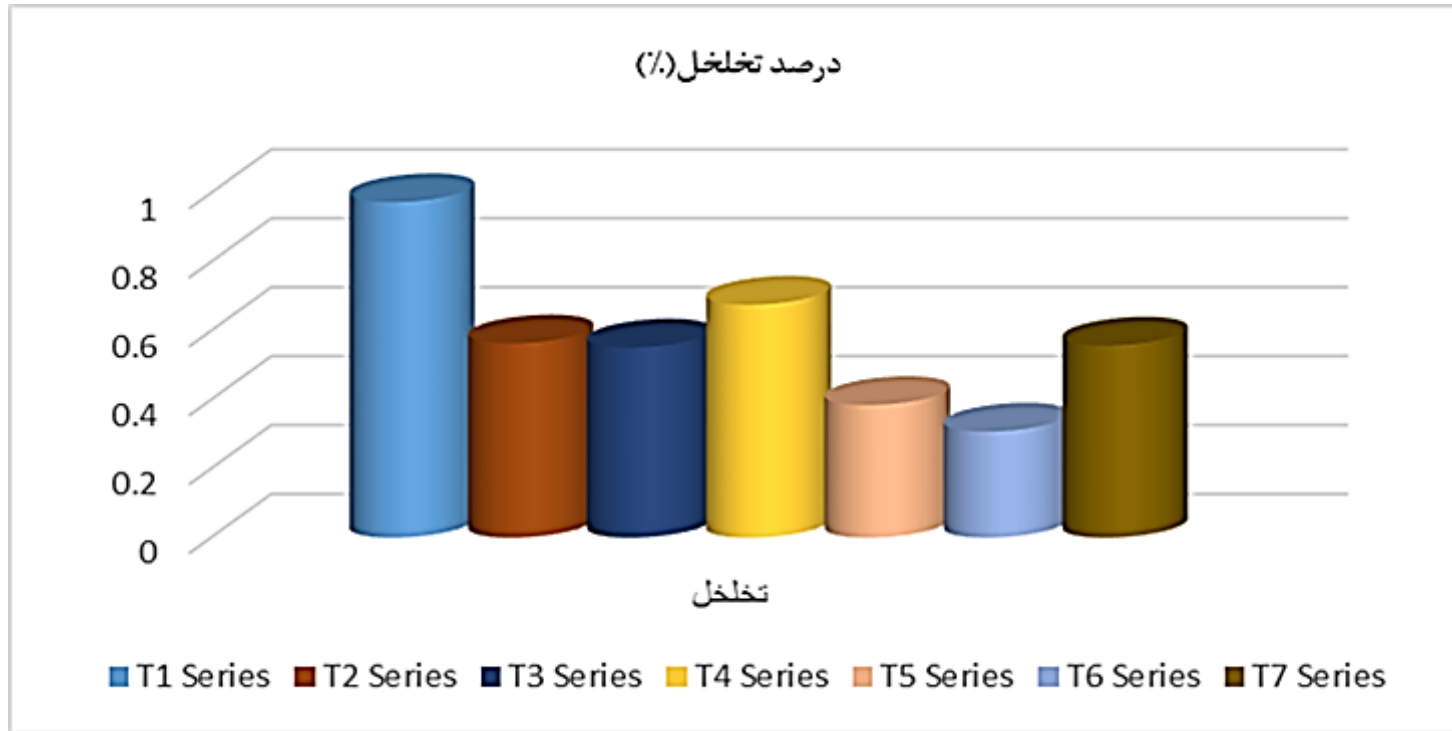
شکل ۴: نمودار وزن واحد حجم نمونه‌ها در حالت خشک و اشباع

## - نتایج آزمایش تعیین درصد تخلخل

داده‌های حاصل از ارزیابی تخلخل در جدول ۲ و شکل ۵ ارائه شده است. در این راستا مقدار درصد تخلخل برای نمونه‌های تیپ ۱ بیشترین و برای تیپ ۶ کمترین مقدار می باشد.

جدول ۲: داده‌های سنجش درصد تخلخل

نمونه	% n			
	Max	Min	Ave	Sd
T1	۱/۰۸۲	۰/۸۹۰	۰/۹۷۳	۰/۰۶۸
T2	۰/۶۴۱	۰/۵۲۰	۰/۵۶۳	۰/۰۵۴
T3	۰/۵۹۵	۰/۴۸۰	۰/۵۵۲	۰/۰۳۹
T4	۰/۸۵۶	۰/۴۹۳	۰/۶۷۶	۰/۱۱۵
T5	۰/۴۲۰	۰/۳۶۲	۰/۳۸۵	۰/۰۲۵
T6	۰/۳۴۶	۰/۲۴۶	۰/۳۰۸	۰/۰۳۳
T7	۰/۶۰۳	۰/۵۱۹	۰/۵۵۷	۰/۰۳۰



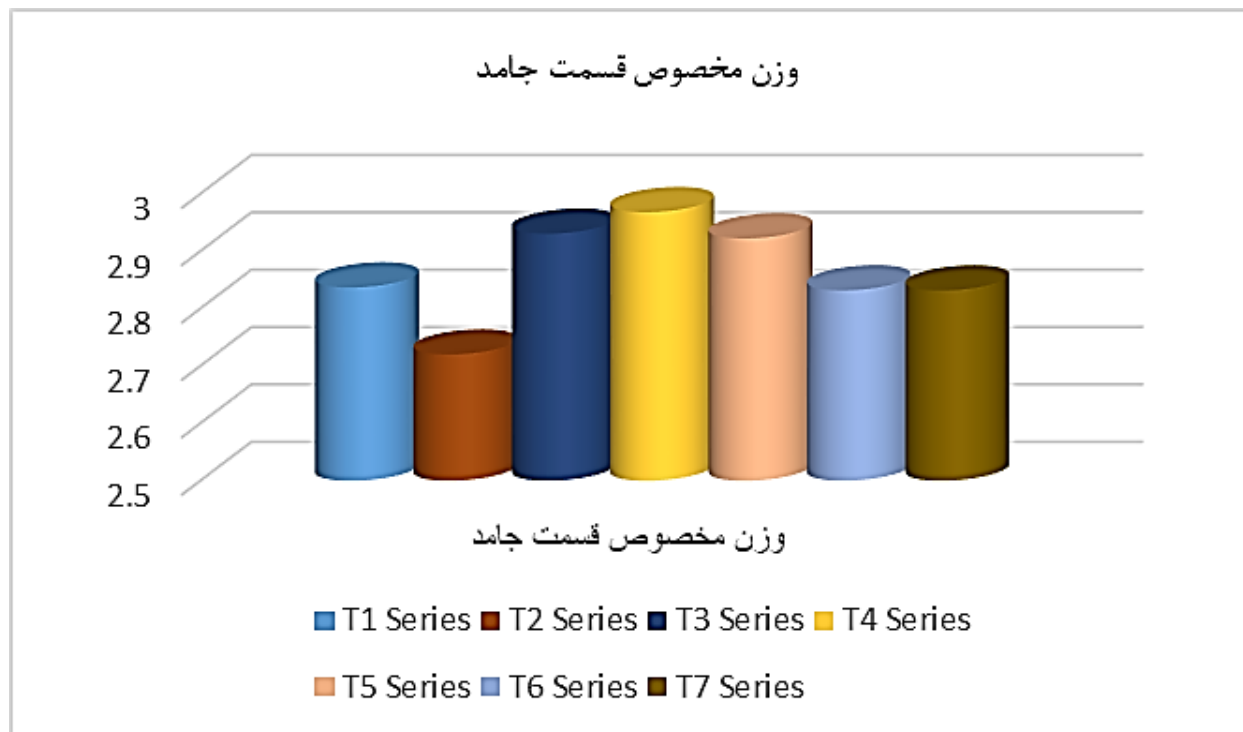
شکل ۵: نمودار درصد تخلخل نمونه‌ها

## - نتایج آزمایش تعیین وزن مخصوص جامد

جدول ۳ و شکل ۶، نتایج حاصل از بررسی وزن مخصوص جامد نمونه‌ها را نشان می‌دهند. در این راستا وزن مخصوص جامد برای نمونه های تیپ ۴ بیشترین و برای تیپ ۲ کمترین مقدار می باشد.

جدول ۳: نتایج بررسی وزن مخصوص جامد

نمونه	وزن مخصوص (Gs)			
	Max	Min	Ave	Sd
T1	۲/۹۵۷	۲/۷۸۱	۲/۸۳۶	۰/۰۵۶
T2	۲/۷۲۳	۲/۷۱۴	۲/۷۲۰	۰/۰۰۴
T3	۲/۹۴۶	۲/۹۱۴	۲/۹۳۰	۰/۰۱۱
T4	۲/۰۶۸	۲/۸۲۶	۲/۹۶۸	۰/۰۷۲
T5	۲/۹۴۲	۲/۹۰۲	۲/۹۲۲	۰/۰۱۶
T6	۲/۸۶۱	۲/۸۰۶	۲/۸۳۱	۰/۰۱۹
T7	۲/۸۳۴	۲/۸۲۷	۲/۸۳۱	۰/۰۰۳



شکل ۶: نمودار وزن مخصوص قسمت جامد

## - نتایج آزمایش تعیین درصد جذب آب

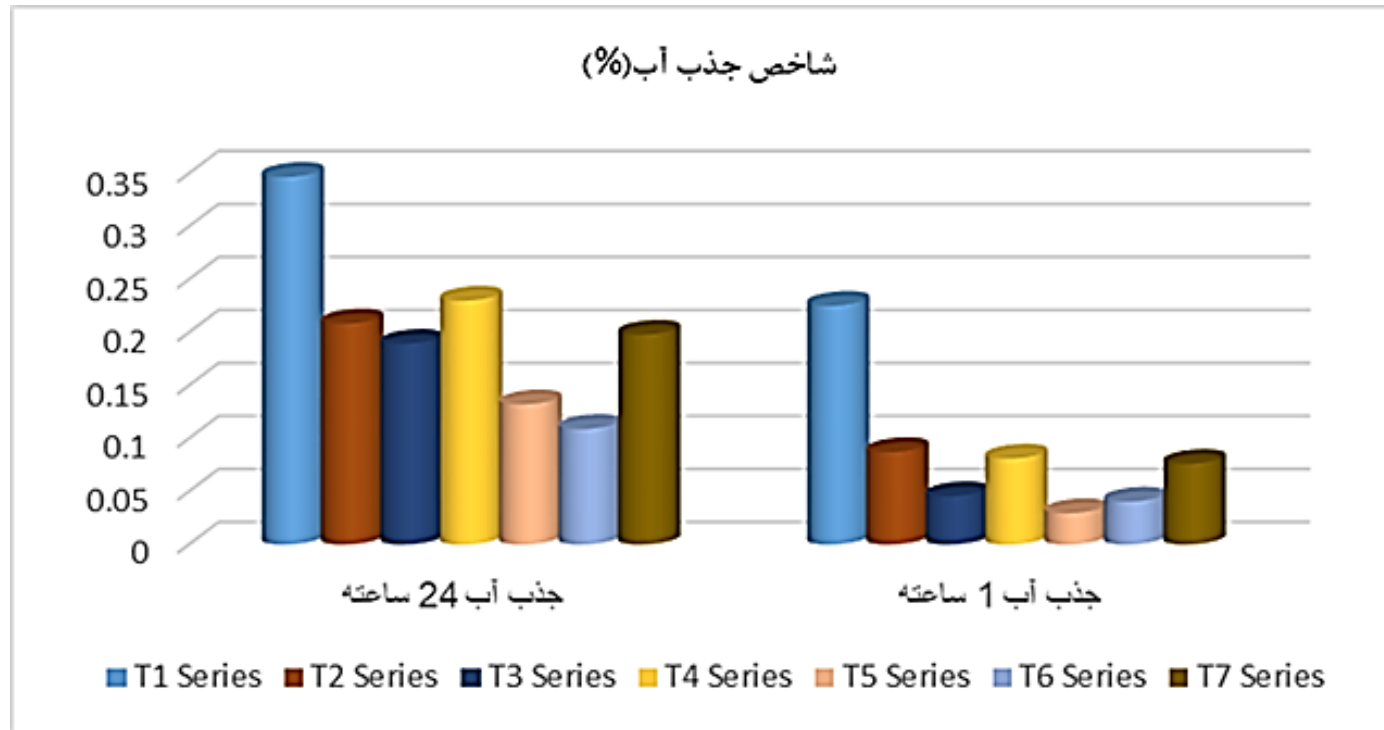
جدول ۴ و شکل ۷، نتایج بررسی‌های درصد جذب آب را به دو صورت ۲۴ و ۱ ساعته نشان می‌دهند. در این راستا مقدار درصد جذب آب برای

نمونه‌های تیپ ۱ بیشترین و برای تیپ ۶ کمترین مقدار می‌باشد.

جدول ۴: نتایج آزمون درصد جذب آب

نمونه	Iv <sub>24</sub> (%)				Iv <sub>1</sub> (%)			
	Max	Min	Ave	Sd	Max	Min	Ave	Sd
T1	۰/۳۹۰	۰/۳۱۶	۰/۳۴۶	۰/۰۲۶	۰/۲۸۰	۰/۱۵۲	۰/۲۲۵	۰/۰۳۸
T2	۰/۲۳۷	۰/۱۹۱	۰/۲۰۸	۰/۰۲۰	۰/۱۰۹	۰/۰۷۲	۰/۰۸۷	۰/۰۱۶
T3	۰/۵۹۵	۰/۴۸۰	۰/۱۸۹	۰/۰۱۴	۰/۲۰۵	۰/۱۶۴	۰/۰۴۵	۰/۰۰۶
T4	۰/۸۵۶	۰/۴۹۳	۰/۲۳۰	۰/۰۴۲	۰/۲۹۱	۰/۱۶۱	۰/۰۸۱	۰/۰۲۶
T5	۰/۴۲۰	۰/۳۶۲	۰/۱۳۲	۰/۰۰۸	۰/۱۴۴	۰/۳۶۲	۰/۰۲۹	۰/۰۰۱
T6	۰/۳۴۶	۰/۲۴۶	۰/۱۰۹	۰/۰۱۱	۰/۱۲۲	۰/۰۸۷	۰/۰۴۰	۰/۰۰۵
T7	۰/۶۰۳	۰/۵۱۹	۰/۱۹۸	۰/۰۱۰	۰/۲۱۴	۰/۱۸۴	۰/۰۷۶	۰/۰۱۱





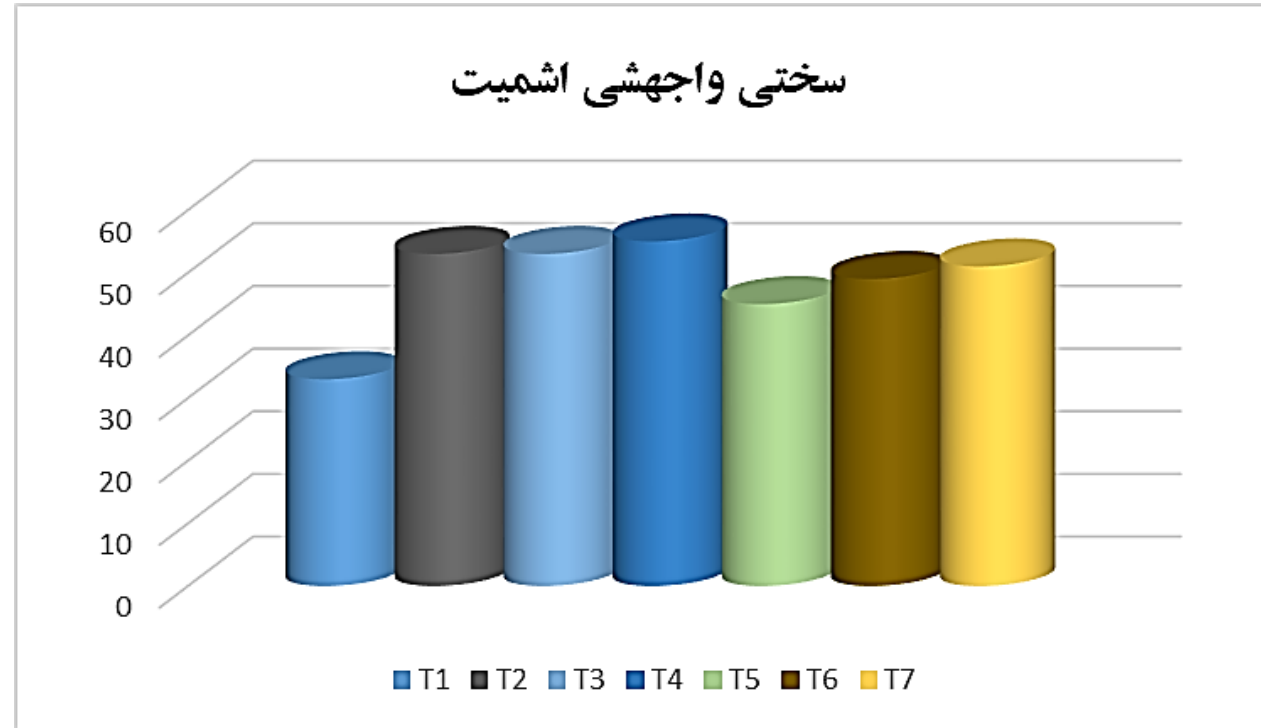
شکل ۷: نمودار شاخص جذب آب

## - نتایج آزمایش تعیین سختی چکش اشمیت

جدول ۵، نتایج تعیین سختی چکش اشمیت را نشان می دهد. در این راستا مقدار سختی چکش اشمیت برای نمونه های تیپ ۴ بیشترین و برای تیپ ۱ کمترین مقدار می باشد.

جدول ۵: نتایج تعیین سختی چکش اشمیت

نمونه	Max	Min	Ave
T1	۴۵	۱۸	۳۳
T2	۶۰	۲۸	۵۳
T3	۷۰	۲۰	۵۳
T4	۶۴	۲۰	۵۵
T5	۶۰	۲۰	۴۵
T6	۶۱	۲۰	۴۹
T7	۶۲	۳۴	۵۱



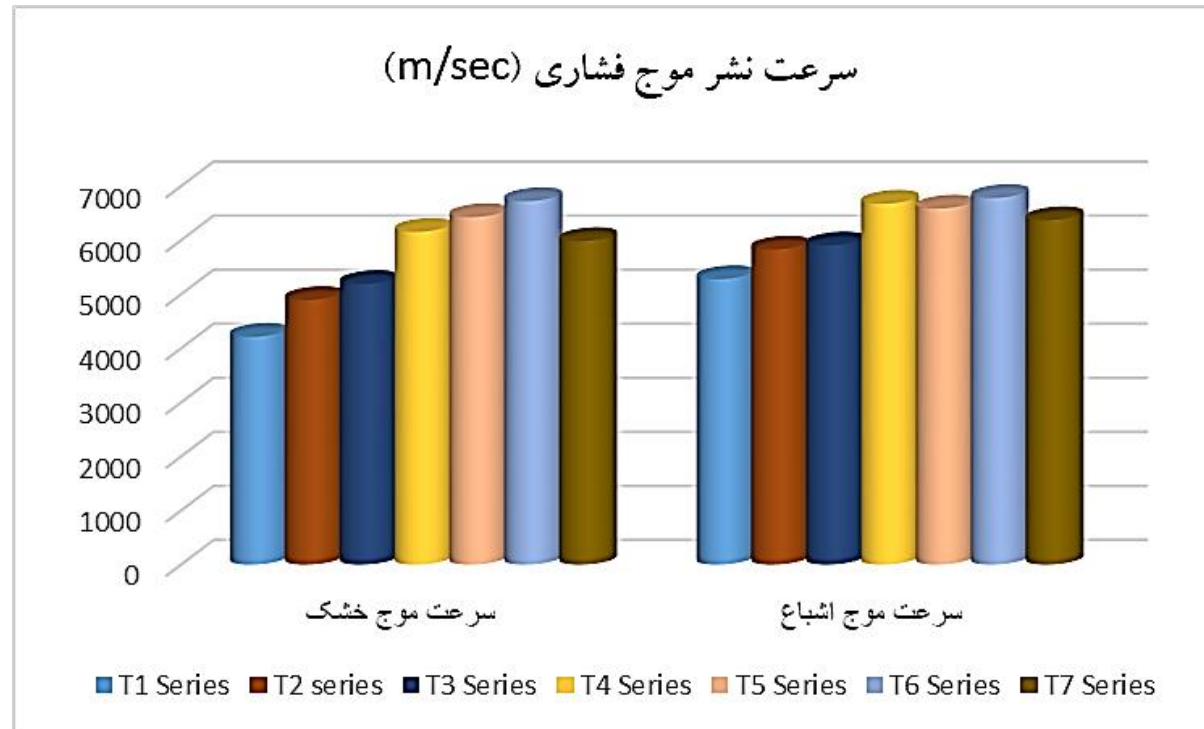
شکل ۸: نمودار سختی واجهشی اشمیت

## - نتایج آزمایش تعیین سرعت سیر موج فشاری

این آزمون در دو حالت خشک و اشباع انجام شده و نتایج آن در جدول ۶ آورده شده است. در این راستا مقدار سرعت سیر موج در حالت خشک برای نمونه های تیپ ۶ بیشترین و برای تیپ ۱ کمترین مقدار می باشد.

جدول ۶: داده های سنجش سرعت سیر موج فشاری (m/sec)

نمونه	$V_{dry}$			$V_{sat}$		
	Max	Min	Ave	Max	Min	Ave
T1	۴۸۳۱	۳۷۷۸	۴۲۱۴	۵۷۲۲	۴۸۲۰	۵۲۸۰
T2	۴۸۹۸	۴۸۹۷	۴۸۹۴	۵۷۷۲	۵۹۲۲	۵۸۲۹
T3	۵۴۳۹	۴۹۰۰	۵۱۹۰	۶۰۲۱	۵۷۵۲	۵۱۰۳
T4	۶۶۵۸	۵۳۱۳	۶۱۵۶	۶۹۸۰	۶۴۷۳	۶۶۷۵
T5	۶۴۴۸	۶۳۸۳	۶۴۲۸	۶۶۲۵	۶۵۰۸	۶۵۸۵
T6	۶۹۰۴	۶۵۱۰	۶۷۲۳	۶۸۶۲	۶۵۰۸	۶۷۸۱
T7	۶۱۱۵/۱۷۸۵	۶۷۵۶	۵۹۸۴	۶۴۶۱	۶۳۲۶	۶۳۷۰



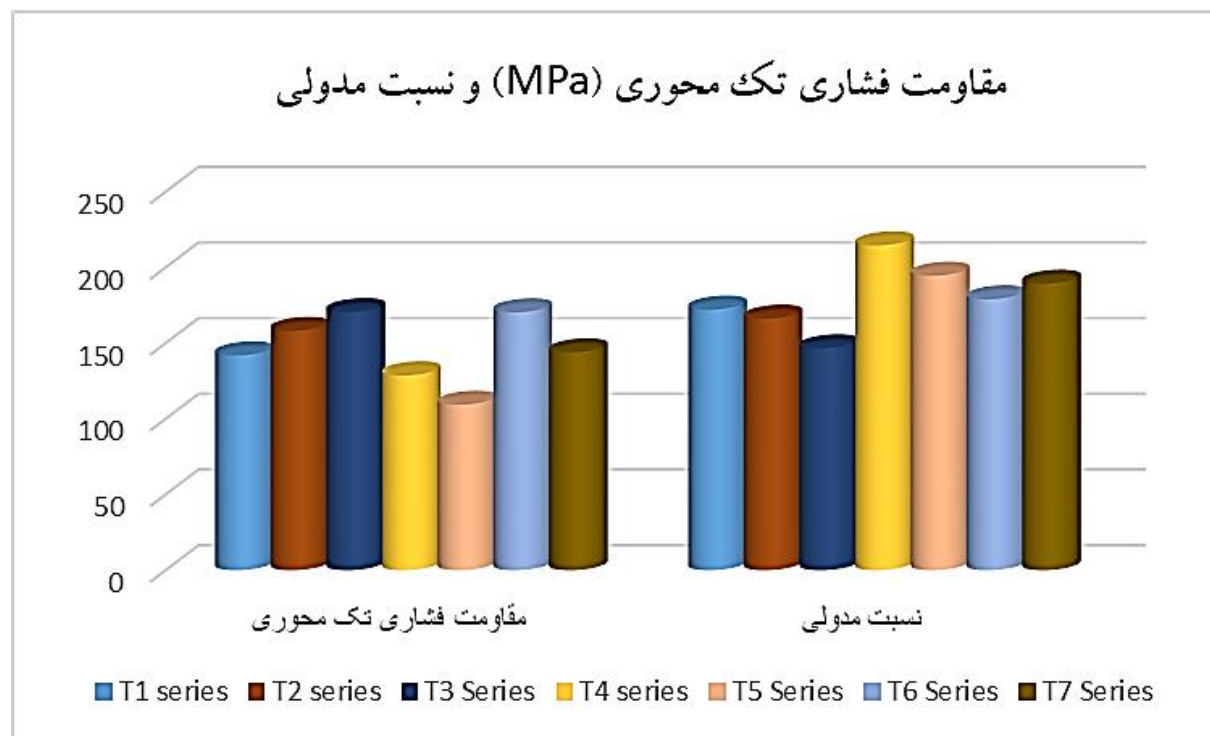
شکل ۹: نمودار شاخص سرعت نشر موج فشاری

## - نتایج آزمایش تعیین مقاومت فشاری تک محوری و نسبت مدولی

از جمله مهم‌ترین آزمون‌های تعیین مقاومت سنگ می‌باشد که در غالب پروژه‌های مهندسی حائز اهمیت است. نتایج این آزمون بر مبنای رده بندی دیر و میلر (۱۹۶۶) مورد ارزیابی واقع گردید (جدول ۷). در این راستا مقاومت فشاری تک محوری برای نمونه های تیپ ۳ بیشترین و برای تیپ ۵ کمترین مقدار می باشد.

جدول ۷: نتایج شاخص‌های مقاومت فشاری تک محوری و نسبت مدولی

نمونه	مقاومت فشاری تک محوری (MPa)				نسبت مدولی				رده
	Max	Min	Ave	Sd	Max	Min	Ave	Sd	
T1	۲۰۱/۶۶۰	۷۶/۱۰۵	۱۴۱/۹۵۵	۴۴/۴۵۶	۱۹۹/۲۸۴	۱۲۴/۰۷۱	۱۷۲/۱۸۱	۲۵/۲۵۴	BL
T2	۱۷۶/۳۰۲	۱۴۰/۵۰۶	۱۵۸/۱۳۶	۱۴/۶۱۸	۱۸۶/۴۶۰	۱۳۱/۶۲۵	۱۶۶/۱۶۸	۲۴/۵۳۲	BL
T3	۱۸۶/۰۷۵	۱۴۴/۶۵۱	۱۷۰/۵۲۱	۱۵/۵۰۱	۱۶۴/۵۷۰	۱۳۴/۴۴۱	۱۴۶/۶۴۷	۱۰/۱۷۸	BL
T4	۱۸۴/۵۲۲	۷۹/۶۴۲	۱۲۸/۷۴۶	۳۲/۵۷۳	۲۳۵/۷۷۸	۱۷۴/۷۴۴	۲۱۴/۶۳۷	۲۵/۴۰۰	BM
T5	۱۱۵/۹۶۴	۱۰۳/۱۰۷	۱۰۹/۳۱۳	۵/۵۵۸	۲۰۵/۲۰۶	۱۷۹/۸۰۷	۱۹۴/۵۹۰	۱۰/۷۷۹	BL
T6	۲۲۰/۲۰۲	۱۰۷/۳۶۱	۱۷۰/۳۷۷	۴۵/۸۲۴	۲۲۵/۰۵۰	۱۴۹/۷۸۸	۱۷۹/۰۱۱	۳۵/۲۰۶	BL
T7	۱۷۳/۲۸۷	۱۱۳/۱۰۶	۱۴۳/۹۶۴	۲۱/۳۴۹	۲۲۷/۴۳۰	۱۳۴/۹۸۲	۱۸۹/۳۴	۳۴/۲۸۳	BL



شکل ۱۰: نمودار شاخص‌های مقاومت فشاری تک محوری و نسبت مدولی

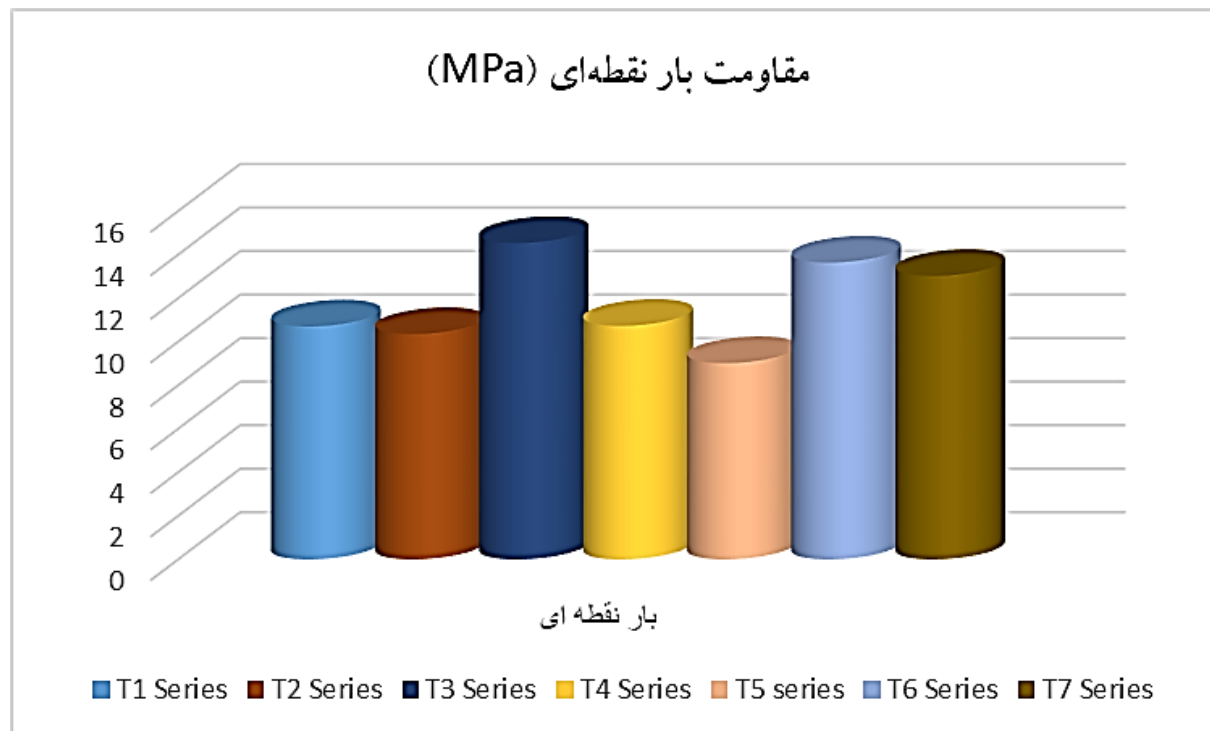
## - نتایج آزمایش تعیین مقاومت بار نقطه‌ای

داده‌های جدول ۸، نتایج آزمون بار نقطه‌ای در شرایط خشک را نشان می‌دهند. در این راستا مقدار شاخص مقاومت بار نقطه‌ای برای نمونه‌های تیپ ۵ بیشترین و برای تیپ ۳ کمترین مقدار می‌باشد.

جدول ۸: نتایج آزمون مقاومت بار نقطه‌ای

نمونه	شاخص مقاومت بار نقطه‌ای (MPa) در حالت خشک			
	Max	Min	Ave	Sd
T1	۱۳/۸۸۳	۷/۴۵۴	۱۰/۶۹۹	۲/۰۲۴
T2	۱۳/۹۷۲	۶/۳۶۱	۱۰/۳۵۰	۳/۱۱۸
T3	۱۶/۵۶۳	۱۲/۷۳۸	۱۴/۵۳۰	۱/۵۵۱
T4	۱۴/۴۷۷	۷/۱۳۴	۱۰/۷۲۷	۲/۳۱۲
T5	۹/۸۱۷	۸/۲۱۴	۹/۰۱۳	۰/۶۵۴
T6	۱۹/۳۸۵	۹/۱۳۴	۱۳/۶۳۴	۳/۶۰۲
T7	۱۵/۲۸۸	۹/۵۴۸	۱۳/۰۱۹	۲/۱۳۱





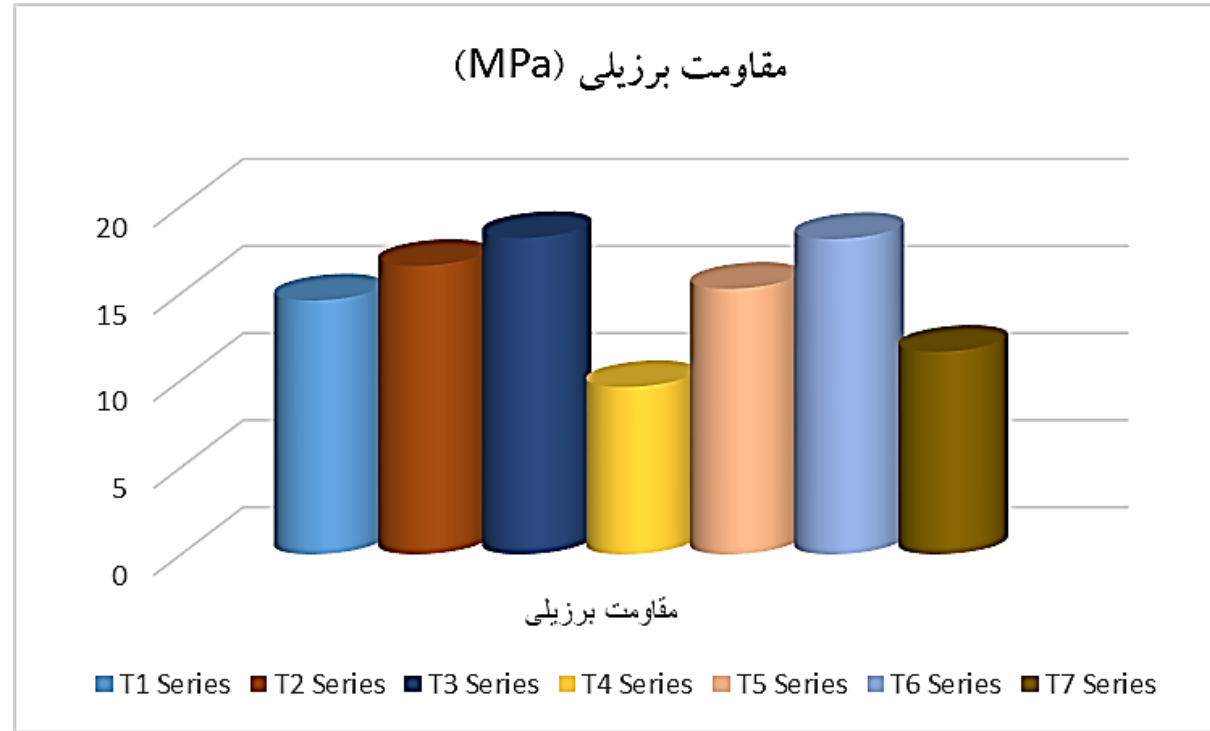
شکل ۱: نمودار پارامتر مقاومت بار نقطه‌ای

## - نتایج آزمایش تعیین مقاومت کششی برزیلی

نتایج حاصل از این آزمون در جدول ۹ ارائه شده است. در این راستا مقدار مقاومت کششی برزیلی برای نمونه های تیپ ۳ بیشترین و برای تیپ ۴ کمترین مقدار می باشد.

جدول ۹: نتایج آزمایش مقاومت کششی غیر مستقیم (برزیلی)

نمونه	مقاومت کششی برزیلی (MPa) در حالت خشک			
	Max	Min	Ave	Sd
T1	۱۷/۲۴۲	۱۱/۲۴۶	۱۴/۵۷۷	۲/۲۹۷
T2	۱۸/۹۴۴	۱۴/۴۴۸	۱۶/۵۶۶	۱/۸۴۴
T3	۲۰/۶۰۳	۱۴/۰۵۶	۱۸/۱۷۰	۲/۵۶۷
T4	۱۴/۰۷۱	۵/۶۰۴	۹/۶۰۸	۲/۶۳۳
T5	۱۵/۹۹۷	۱۴/۶۸۵	۱۵/۲۵۲	۰/۵۵۰
T6	۲۲/۷۹۵	۱۱/۹۷۶	۱۸/۱۰۷	۴/۳۲۸
T7	۱۴/۴۱۷	۹/۶۸۹	۱۱/۶۳۴	۱/۸۷۶



شکل ۱۲: نمودار شاخص مقاومت برزیلی

## نتیجه‌گیری □

نتایج حاصل از بررسی‌های انجام شده نشان می‌دهد که، با توجه به طبقه بندی آنون (۱۹۷۹) [نقل از ۷] نمونه‌های سنگی منطقه از نظر فیزیکی دارای مقدار وزن واحد حجم خشک زیاد تا خیلی زیاد، درصد تخلخل خیلی کم، شاخص جذب آب بسیار پایین و وزن مخصوص جامد بالا می‌باشند. این نمونه‌ها از نظر ویژگی‌های مکانیکی نیز دارای ویژگی‌های قابل قبول و مناسبی هستند. در این راستا، نتایج طبقه بندی آنون (۱۹۷۹) [نقل از ۷] حاکی از آن است که سرعت سیر موج فشاری در این نمونه‌ها در گروه‌های سرعت بالا و غالباً سرعت خیلی بالا جای دارد. بررسی پارامترهای شاخص مقاومت بار نقطه‌ای، آزمون برزیلی و مقاومت فشاری تک محوری بیانگر قرار گیری این سنگ‌ها در رده مقاومتی بالا و خیلی بالا می‌باشد. به طور کلی، با توجه به اینکه سنگ‌های ناهمگن و انیزوتروپ مانند میگماتیت‌ها دارای رفتار پیچیده‌ای هستند، در پروژه‌های عمرانی که نیاز به استفاده از میگماتیت‌ها می‌باشد، در حالت کاربرد میگماتیت‌های تازه و هوانزده، مقاومت بالا و مناسبی از آنها انتظار می‌رود.

## مراجع □

- [۱] ساعدی، بهمن. *مطالعه ویژگی های زمین شناسی مهندسی میگماتیت های زون سندج سیرجان با تاکید بر اثر فابریک*. رساله دکتری زمین شناسی مهندسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه بو علی سینا، 1398.
- [۲] کتابی، لقمان. *مطالعه ویژگی های زمین شناسی مهندسی میگماتیت های منطقه جنوب سیمین، همدان*، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ۱۳۹۱.
- [3] J. Stoecklin, Structural history and tectonics of Iran: a review. AAPG bulletin, 52(7), (1968), 1229-1258.
- [۴] نبوی، محمد حسن. *مقدمه ای بر زمین شناسی ایران*، سازمان زمین شناسی و اکتشاف معدنی کشور، ۱۳۵۵.
- [5] M.J. Pawley, W.V. Preiss, R.A. Dutch, A.J. Reid. *A User's Guide to Migmatites*. Department for Manufacturing, Innovation, Trade, Resources and Energy, 2013.
- [۶] مسعودی، فریبرز. *میگماتیتها*، دانشگاه تربیت معلم، ۱۳۸۱.
- [۷] فهیمی فر، احمد. و سروش، حامد. *آزمایش های مکانیک سنگ*، جلد اول، انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر، ۱۳۸۰.
- [۸] نقشه زمین شناسی 100000/1 *برگه تخت سلیمان*. سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

