

تخمین خصوصیات مهندسی سنگ مارن با استفاده از آزمایش پانچ

مهدی مسینی^{*}، بهنام علی‌پنهانی^۱ و سعیده سنماری^۱

(۱) استادیار، گروه مهندسی معدن، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره) قزوین، meh_hosseini18@yahoo.com

(۲) دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی معدن، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره) قزوین

(*) عهده‌دار مکاتبات

دریافت: ۹۱/۳/۲۱؛ دریافت اصلاح شده: ۹۱/۱۰/۲۰؛ پذیرش: ۹۱/۱۱/۲۱؛ قابل دسترس در تارنما: ۹۲/۴/۳۰

چکیده

بسیاری از سازه‌های ساخت دست بشر بر روی سنگ و یا در داخل آن ساخته شده‌اند، لذا تعیین پارامترهای مختلف سنگ که در طراحی‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشند. در بعضی از سنگها (به‌عنوان مثال مارن)، به دلیل لایه‌ای بودن و داشتن سطوح ضعف، تهیه نمونه استاندارد جهت انجام آزمایشهایی مانند آزمایش تراکم تک محوری مشکل است. در این تحقیق آزمایش تعیین مقاومت تراکم تک محوری، آزمایش پانچ، آزمایش بار نقطه‌ای، آزمایش تعیین سرعت موج فشاری، آزمایش برزیلی و تعیین وزن مخصوص، بر روی نمونه‌هایی از سنگ مارن جاده امامزاده هاشم (استان گیلان) و شهرستان آبگرم (استان قزوین) انجام شد. هدف از این تحقیق بدست آوردن روابطی است که با استفاده از آزمایش پانچ بتوان اندیس بار نقطه‌ای، مقاومت تراکم تک محوری، مقاومت کششی و سرعت موج فشاری را تخمین زد. به کمک روابط به‌دست آمده از رگرسیون خطی (ضریب همبستگی بالای ۰/۷۹)، می‌توان خصوصیات سنگ مارن را با دقت بالایی تخمین زد.

واژه‌های کلیدی: مقاومت تراکم تک محوری، آزمایش پانچ، شاخص بار نقطه‌ای، مقاومت کششی برزیلی، سرعت موج فشاری.

۱- مقدمه

تعیین می‌گردد. انجام این آزمایش علی‌رغم سادگی فهم و درک منطق آن، مستلزم صرف هزینه و وقت زیادی است. یکی از مهم‌ترین محدودیت‌های انجام این آزمایش، موانع و سختی‌های تهیه نمونه استاندارد است (فهیمی‌فر و سروش ۱۳۸۰). نمونه‌های مورد نیاز این آزمایش باید با نسبت طول به قطر مورد نظر تهیه شوند. تهیه مغزه با کیفیت بالا، بخصوص در سنگهای سست لایه و سنگ‌های با شکستگی و سطوح ضعیف زیاد (مانند سنگ مارن)، کار دشواری است (جعفری و همکاران ۱۳۸۹).

در طی سال‌های اخیر، محققان بسیاری تلاش نموده‌اند تا با استفاده

برای تعیین پارامترهای مورد نیاز جهت طراحی سازه‌های سنگی، مطالعات متفاوتی انجام می‌شود. یکی از این پارامترها که در طراحی‌ها کاربرد وسیعی دارد، مقاومت تراکم تک محوری سنگ (Uniaxial Compressive Strength, UCS) است. این پارامتر به صورت مستقیم بر اساس استانداردهای رایج انجمن بین‌المللی مکانیک سنگ (International Society for Rock Mechanics, ISRM) و انجمن تست مواد آمریکا (American Society for Testing Materials, ASTM) از طریق آزمایش بر روی نمونه سنگ بکر

مارن‌ها می‌توانند از نوع آب شیرین یا دریاچه‌ای باشند. از جمله مارن‌هایی که از صدفهای دریایی تشکیل می‌شوند می‌توان به مارنهای موجود در دشتهای ساحلی آتلانتیک، مارنهای رسی یا ماسه‌ای با مقادیر کمی آهک و مارن گلاکونیتی اشاره کرد. مارن‌ها معمولاً آنقدر نرم هستند که می‌توان با استفاده از ابزارهای دستی در آنها حفاری کرد (این گونه مارن‌ها معمولاً با طبقاتی از ماسه و رس همراه هستند). یکی از ویژگی‌های شیمیایی مارن آن است که هر چه بر میزان میانگین Ca^{2+} ، HCO_3^- ، Na^+ ، Cl^- و گچ در آنها افزوده شود، شدت فرسایش بالا رفته و در نتیجه اشکال فرسایش شیاری، هزار دره‌ای (در شیب‌های تند) و خندقی (در شیب‌های کم) نیز گسترش می‌یابد. مارن‌هایی که دارای اشکال فرسایشی قطرات باران و شیارهای کوچک هستند، املاح قابل توجهی ندارند.

به علت حساسیت شدید سنگهای مارنی - رسی در برابر عوامل جوی آب و هوا، وجود آنها در ارتباط با طرحهای مهندسی می‌تواند مشکل‌ساز باشد. با توجه به وسعت سازندهای حاوی مارن در ایران، سنگهای مارنی در اکثر نقاط به‌ویژه در جنوب، گسترش وسیعی دارند. مطالعات نشان می‌دهد که درصد رس و کربنات و نوع رس، از عوامل اصلی کنترل‌کننده ویژگی سنگهای مارنی-رسی است. بررسی‌ها نشان می‌دهد که با افزایش درصد کربنات در سنگهای مارنی - رسی، ویژگیهای فیزیکی و مکانیکی آنها از لحاظ مهندسی بهبود می‌یابد. به منظور شناخت رفتار ژئومکانیکی سنگهای مارنی، تعیین خصوصیات کانی‌شناسی و ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی سنگ ضروری می‌باشد. آگاهی از چنین خصوصیات می‌تواند به ارزیابی شرایط پایداری شیبهای سنگی و تعیین روش آب بندی سدهای واقع بر روی پی‌های مارنی کمک نماید. مارن‌ها از نظر ترکیب کانی‌شناسی متشکل از کانی‌های رسی و کانی‌های کربناته هستند. از کانیهای رسی مارن می‌توان به اسمکتیت، کائولینیت و ایلیت اشاره نمود. تصویر ۱، موقعیت مارن را بر اساس درصد رس و کربنات کلسیم نشان می‌دهد (پایگاه ملی داده‌های علوم زمین کشور ۱۳۹۱).

مارن‌ها بدلیل ناخالصی‌هایی از ترکیبات آهن دار، مواد آلی و برخی عناصر، به رنگهای خاکستری متمایل به سبز و کبود مایل به قهوه‌ای در خاک در می‌آیند (پایگاه ملی داده‌های علوم زمین کشور ۱۳۹۱). منابع شناخته شده مارنی در کشور فراوان است. در ایران بجز زون زاگرس، مناطقی که دارای شرایط لازم برای تشکیل مارن مناسب برای تهیه آجر باشند نیز به اندازه کافی یافت می‌شود.

بنابراین، علاوه بر خاک‌های رسی، دشت‌ها و کوهپایه‌ها، در سازندهای مختلف نیز منابع رسی و مارنی وجود دارد که بایستی مورد مطالعه قرار گیرند.

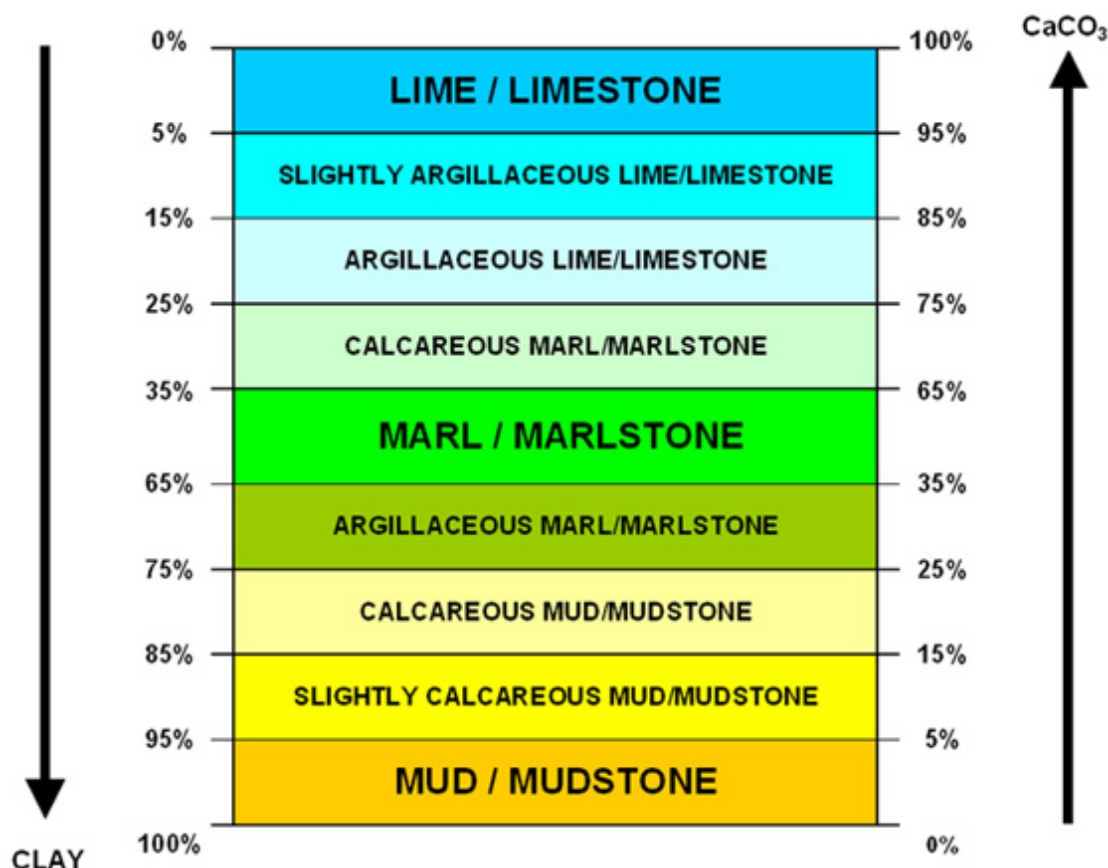
از نتایج آزمایش‌های دیگر، مقاومت تراکم تک محوری یا مقاومت کششی را به صورت غیر مستقیم تخمین بزنند. یکی از جدیدترین روش‌های غیر مستقیم تخمین مقاومت تراکم تک محوری، استفاده از نتایج آزمایش پانچ می‌باشد. از دیگر روشهای غیر مستقیم می‌توان به استفاده از شاخص بار نقطه‌ای، مقاومت کششی برزلی و سرعت موج فشاری اشاره کرد. در این خصوص روابطی برای تخمین مقاومت تراکم تک محوری شیل‌های سازند شمشک با استفاده از شاخص بار نقطه‌ای و شاخص دوام ارائه شده است (کیانپور و همکاران ۱۳۹۰).

آزمایش پانچ به دلیل سادگی در تهیه نمونه و کوچک بودن نمونه مورد نیاز (امکان تهیه آن از مغزه‌های ناقص یا کوتاه نیز وجود دارد) و همچنین به دلیل دقت نسبتاً خوبی که در تخمین مقاومت تراکم تک محوری و سایر خصوصیات سنگ دارد، به تازگی در تحقیقات انجام شده بر روی سنگها به خصوص سنگهای ضعیف، به شدت درز دار، متورق و فیلیشی، جایگاه خوبی پیدا کرده است (Askoy et al. 2011). هدف از این پژوهش بدست آوردن روابطی است که با استفاده از آزمایش پانچ بتوان اندیس بار نقطه‌ای، مقاومت تراکم تک محوری، مقاومت کششی و سرعت موج فشاری را تخمین زد.

۲- سنگ‌شناسی مارن

سنگ‌های رسوبی را می‌توان به دو گروه سنگ‌های آواری (ناشی از فرسایش فیزیکی) و غیرآواری (ناشی از واکنشهای شیمیایی و عملکرد زیست شیمیایی) تقسیم نمود. سنگ‌های آواری را بر پایه‌ی اندازه‌ی ذرات در چهار خانواده‌ی بزرگ تر از ماسه، در حد ماسه، اندازه‌ی لای و کوچک‌تر از لای طبقه‌بندی می‌کنند. مارن جز دسته کوچکتر از لای قرار می‌گیرد (موسوی حرمی ۱۳۷۹). مخلوط رس و کربنات کلسیم که میزان رس یا کربنات آن بین ۳۵ تا ۶۵ درصد است، پس از سخت شدن تبدیل به سنگ مارن می‌گردد. البته برای تشخیص هر یک از این اجزاء، راه‌های متفاوتی وجود دارد. به عنوان مثال برای شناخت دقیق کانیها اعم از رسی و غیررسی و درصد عناصر نمونه مورد نظر می‌توان از مطالعات ایکس آر دی (X-ray Diffraction, XRD) و ایکس آر اف (X-Ray Fluorescence, XRF) استفاده نمود. همچنین برای شناخت آهک نیز می‌توان از قابلیت حل شدن و شسته شدن این کانی استفاده کرد.

سنگ مارن یکی از اجزای تشکیل‌دهنده سازندهای زمین‌شناسی است که از لحاظ فیزیکی غیر قابل نفوذ می‌باشد. تجمع آب‌های حاصل از نزولات جوی و آبهای زیرزمینی سبب سست شدن آن شده، در نتیجه لایه‌های فوقانی ناپایدار شده و بر اثر نیروی وزن یا نیروی حاصل از زمین لرزه رانش می‌کنند.



تصویر ۱- موقعیت سنگها و خاک بر حسب درصد رس و کربنات کلسیم (پایگاه ملی داده‌های علوم زمین کشور ۱۳۹۱)

ویژه‌ای است. دستگاه آزمایش پانچ بلوکی (تصویر ۲)، برای اولین بار در آزمایشگاه زمین شناسی مهندسی دانشگاه صنعتی دلفت توسط تاسلار (Taselaar) ساخته شد.

شرایر واندر (Shrier van der 1988) با استفاده از این دستگاه و بر اساس نتایج آزمایش های انجام شده بر روی نمونه‌هایی به ضخامت ۱۰ و قطر ۴۰ میلیمتر که از تعداد ۹ نوع سنگ مختلف تهیه کرده بود، رابطه‌ای بین مقاومت تراکم تک محوری و شاخص پانچ بلوکی (Block punch index, BPI) ارائه کرد (رابطه ۱).

$$UCS = 6.1 BPI - 3.3 \quad \text{رابطه (۱)}$$

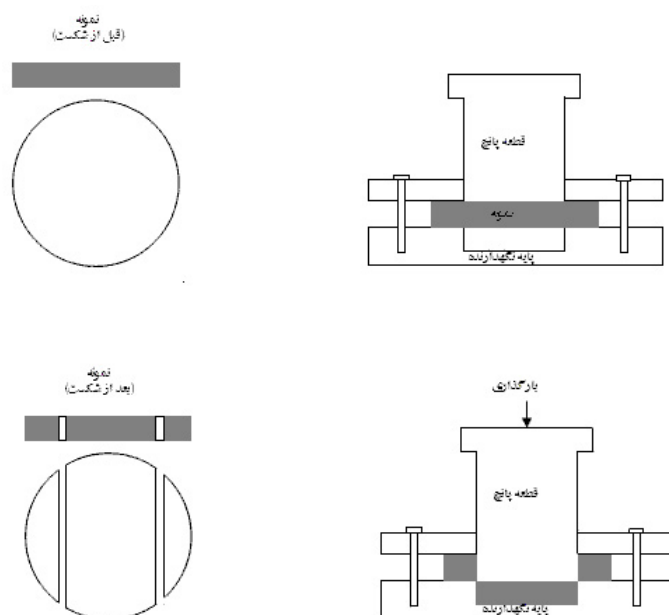
در کلیه‌ی مطالعات ذکر شده، اثر ابعاد نمونه مورد آزمایش در نظر گرفته نشد و در عمل تمامی تخمین ها براساس نتایج آزمایش های اصلاح نشده استوار بود. الوسای و همکاران (Ulusay et al. 2001) در دانشگاه حاجه تپه ترکیه، دستگاهی را تهیه کردند که به کمک آن تاثیر اندازه نمونه را بر روی BPI بررسی نمودند. در این تحقیقات، ۱۹۰۰ آزمایش BPI بر روی ۲۵ نوع سنگ مختلف انجام شد. در تصویر ۳، دستگاه مورد استفاده در این مطالعه ارائه شده است.

عمده‌ترین مصرف مارن، تأمین خاک مورد نیاز برای تهیه آجر است. در حال حاضر با وجود منابع فراوان خاک رس در کشور تولید آجر پاسخگوی نیاز کشور نیست.

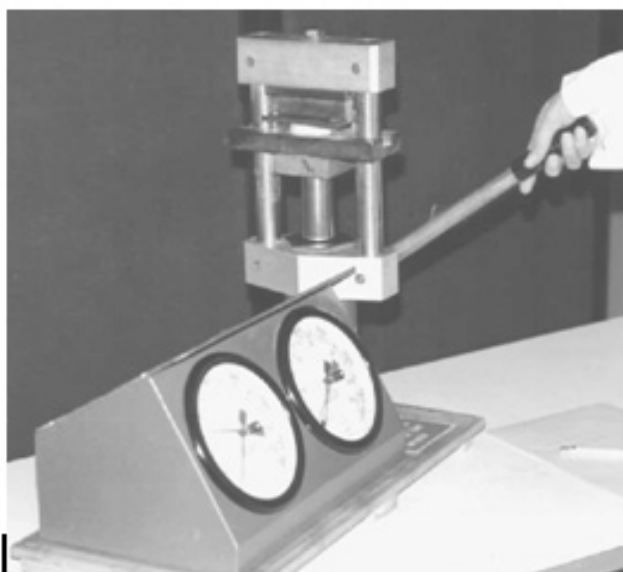
۳- مروری بر مطالعات گذشته

دستگاه آزمایش پانچ اولین بار توسط لاکهاریت (Lakharit 1960)، سپس توسط وتوکوری (Vutukuri 1974) و در نهایت توسط استیسی (Stacey)، برای تعیین مقاومت برشی مورد استفاده قرار گرفت (Shrier van der 1988). در خصوص استفاده از نتایج آزمایش هایی نظیر شاخص بار نقطه‌ای، تعیین سرعت صوت، مقاومت کششی و برخی دیگر از آزمایش ها، به منظور تخمین غیر مستقیم مقاومت تراکم تک محوری سنگ، تحقیقات نسبتاً گسترده‌ای انجام شده است (Zhang 2005).

امروزه آزمایش پانچ به دلیل قابل حمل بودن دستگاه، سادگی تهیه و آماده سازی نمونه و همچنین کوچک بودن نمونه مورد نیاز برای آزمایش، در میان محققین (به عنوان یک آزمون جایگزین مناسب برای تخمین مقاومت تراکم تک محوری و مقاومت کششی) دارای جایگاه



تصویر ۲- دستگاه ساخته شده توسط شرایر واندر در دانشگاه دلفت (Shrier van der 1988)



تصویر ۳- دستگاه ساخته شده توسط الوساری و همکاران در دانشگاه حاجه تپه ترکیه (Ulusay et al. 2001)

(Sonmez & Tunusluoglu 2008). در داخل کشور مطالعاتی بر روی نمونه آهکهای لار و دلیچای برای تعیین ضریب های تبدیل شاخص پانچ بلوکی به مقاومت تراکم تک محوری انجام شده است. (احمدی ۱۳۸۳). در ضمن، با استفاده از دستگاه پانچ، پارامترهای مقاومتی سنگهای ناهمسانگرد نیز مورد بررسی قرار گرفته است (نیکودل و باغبانیان ۱۳۸۰). به طور کلی، مطالعات کمی بر روی سنگ مارن انجام شده است. در نتیجه، این پژوهش صرفاً بر روی سنگ مارن که از مناطقی از ایران برداشت شده، انجام گردید.

الوسای و همکاران (Ulusay et al. 2001) با ترکیب داده‌های به دست آمده از مطالعات مختلف، نتایج جدیدتری را به دست آوردند. آنها روابط جدیدی را برای اصلاح عدد BPI (براساس ابعاد نمونه) و همچنین تخمین مقاومت فشاری تک محوری (با توجه به نتایج اصلاح شده آزمایش پانچ بلوکی)، ارائه دادند. بر این اساس، الوسای و همکاران (Ulusay et al. 2001) روش پانچ بلوکی را به عنوان آزمایشی استاندارد شده به انجمن بین‌المللی مکانیک سنگ پیشنهاد کردند. این روش در مجموعه منتشر شده از طرف ISRM، به عنوان روش استاندارد و پیشنهادی این انجمن در سال ۲۰۰۶ معرفی گردید

۴- مشخصات نمونه‌های مورد آزمایش

محوری، آزمایش بار نقطه‌ای، تعیین سرعت موج فشاری و آزمایش برزیلی از بلوک‌های مغزه‌های لازم تهیه گردید (جدول ۱).

در این تحقیق، از ۴ منطقه مورد مطالعه، بلوک‌هایی از سنگ مارن برداشت شد. برای انجام آزمایش پانچ بلوکی، آزمون تراکم تک

جدول ۱- مشخصات جغرافیایی مکانهای نمونه برداری

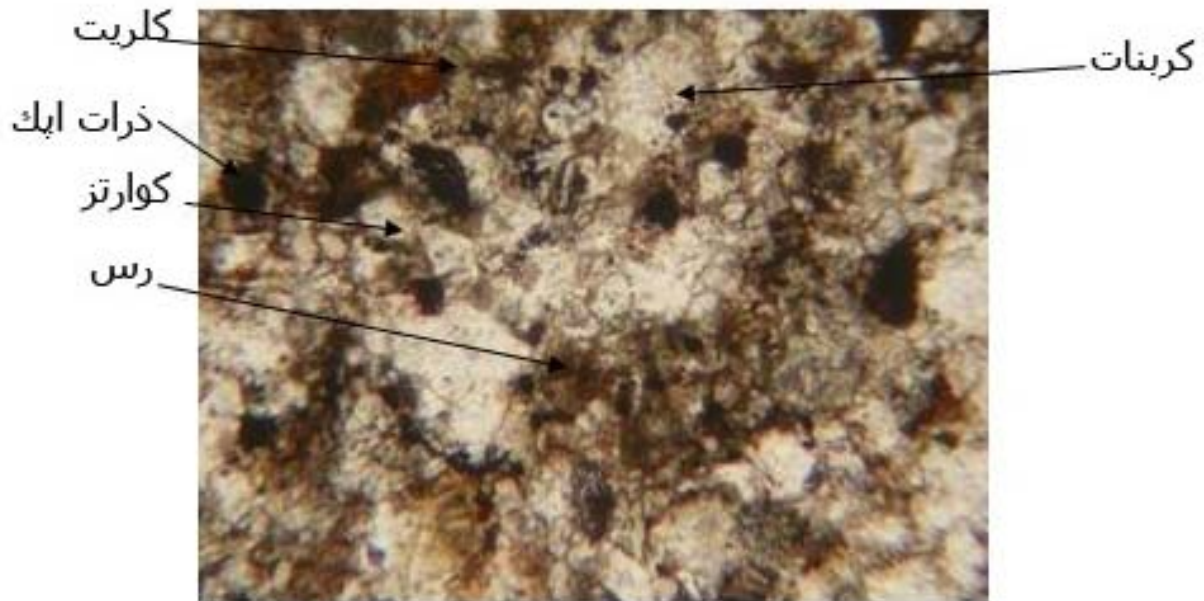
ردیف	نام منطقه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	شیب منطقه	امتداد لایه ها
۱	جاده رشت	N ۳۶ ۴۱ ۱۷/۴	E ۴۹ ۲۵ ۵۴/۳	۳NW	N20W
۲	جاده رشت	N ۳۶ ۴۳ ۱۶/۱	E ۴۹ ۲۵ ۰/۱	۳NW	N20W
۳	جاده رشت	N ۳۶ ۴۱ ۲۲/۳	E ۴۹ ۲۶ ۱۴/۴	۳NW	N20W
۴	آبگرم	N ۳۵ ۴۷ ۲۸/۷	E ۴۹ ۲۵ ۳۱	توده‌ای	-

جدا شدن مغزه از بلوک، بلافاصله آن را درون آون (گرمخانه) قرار داده تا از نفوذ آب به درون بافت سنگ و در نتیجه تغییر مقاومت آن جلوگیری شود. مغزه‌های تهیه شده از بلوک‌ها بلافاصله داخل پلاستیک قرار داده می‌شوند تا از هوازدگی آنها جلوگیری به عمل آید. بعد از مغزه‌گیری و برش نمونه‌ها برای انجام آزمایش تراکم تک محوری، سطوح انتهایی نمونه ساب داده می‌شود. برای انجام مطالعات میکروسکوپی از نمونه‌ها مقاطع نازک تهیه شد. در مقطع نازک تهیه شده از منطقه ۱، رس به صورت ذرات و دانه‌های ریز و ابرمانند به همراه قطعات سیاه از عناصر اپیک که از نظر ترکیب از گروه اکسیدهای آهن هستند، قابل مشاهده می‌باشد. میزان رس در این منطقه ۵۲ درصد است. در این منطقه، ذرات آواری کوارتز به رنگ طوسی و به صورت دانه ریز در زمینه مشاهده می‌شوند (تصویر ۵). قطعاتی از کربنات کلسیم نیز به صورت رنگارنگ در مقطع قابل مشاهده می‌باشند.

به منظور جلوگیری از هوازدگی، نمونه‌ها پس از برداشت در داخل پلاستیک محافظ قرار داده شدند و به آزمایشگاه انتقال یافتند. ابعاد بلوک‌های برداشت شده تقریباً ۲۰×۲۰ سانتیمتر و ضخامت متوسط آنها ۱۵ سانتیمتر بود. با توجه به وضعیت لایه بندی و سختی نمونه برداری، از هر منطقه به طور متوسط دو بلوک برداشت شد. تصویر ۴ منطقه برداشت ۳ را نشان می‌دهد. سنگ مارن به دلیل رس بالا (۳۵ تا ۶۵ درصد)، تحت تاثیر آب و هوا، تغییر مقاومت می‌دهد. بنابراین، برای مغزه‌گیری از بلوک‌های تهیه شده، از هوای فشرده برای خنک کردن دستگاه مغزه گیر استفاده شد. البته این عمل در مغزه‌گیری از بلوک‌های کم ضخامت مناسب است و هنگام مغزه‌گیری از بلوک‌های با ضخامت بیشتر از ۱۰ سانتیمتر، حرارت دستگاه مغزه گیر افزایش یافته و در معرض خطر قرار می‌گیرد. این مسأله در سنگ‌های با درصد رس پایین مشاهده می‌گردد. در این حالت، برای مغزه‌گیری از آب به عنوان سیال خنک کننده استفاده می‌گردد. در ادامه، پس از



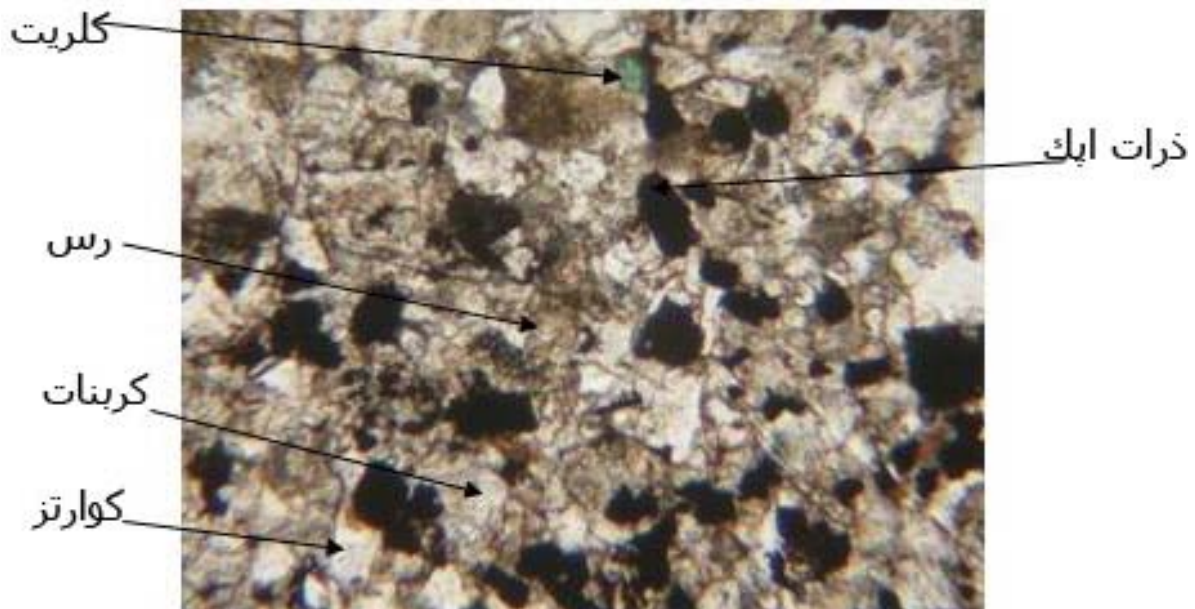
تصویر ۴- نمایی از منطقه ۳ که بلوک از آن برداشت گردید (دید به سمت شمال، مقیاس ۱:۲۵)



تصویر ۵- مقطع نازک تهیه شده از منطقه ۱ (مقیاس: هر سانتیمتر روی شکل معادل ۱۲۵ میکرون، نور XPL)

می شود (تصویر ۶). علاوه بر آن، رس به صورت هاله‌ای غبارمانند در تمامی مقطع قابل مشاهده می‌باشد. در این نمونه درصد ذرات آواری کوارتز نسبت به نمونه‌های مناطق ۱ و ۳ حدود ۱/۵ تا ۲ برابر است. میزان رس در نمونه‌های این منطقه حدود ۴۸ درصد است.

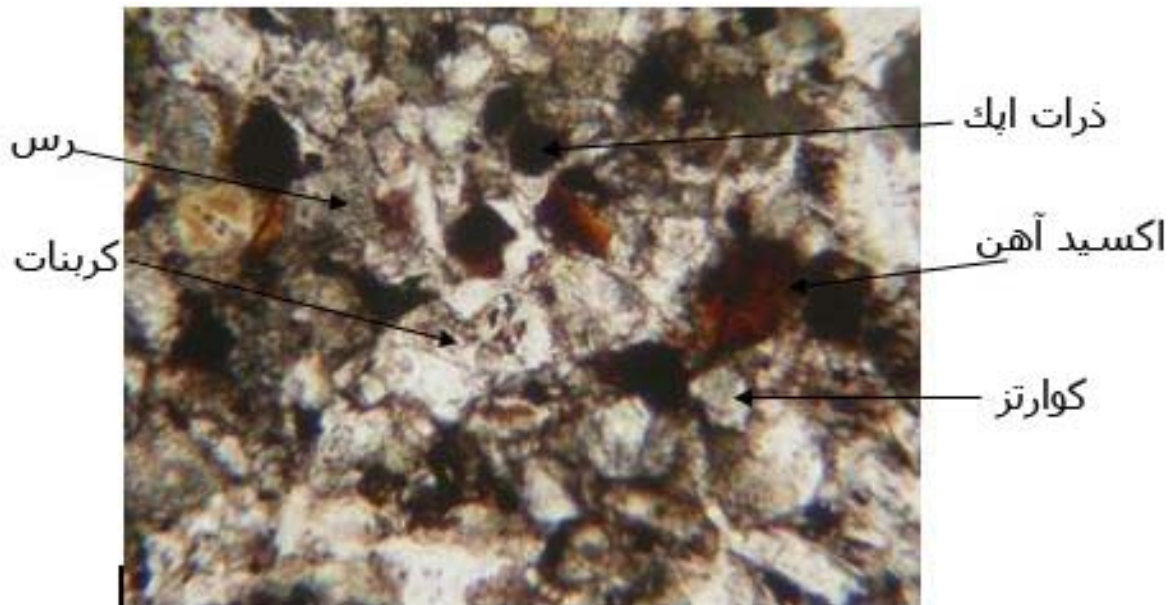
نمونه‌های منطقه ۲ نسبت به نمونه‌های مناطق ۱ و ۳ دارای ذرات، قطعات اپک و اکسیدهای آهن بیشتری می‌باشند. در مقطع نازک تهیه شده از این منطقه، بافت ریزدانه حاوی قطعات کوارتز طوسی که در زمینه بلورهای رنگی کربنات کلسیم (کلسیت) پراکنده است، مشاهده



تصویر ۶- مقطع نازک از منطقه ۲ (مقیاس: هر سانتیمتر روی شکل معادل ۱۲۵ میکرون، نور XPL)

اپک در آن مشاهده می‌شود (تصویر ۷). میزان رس در نمونه‌های منطقه ۳، حدود ۵۲ درصد است.

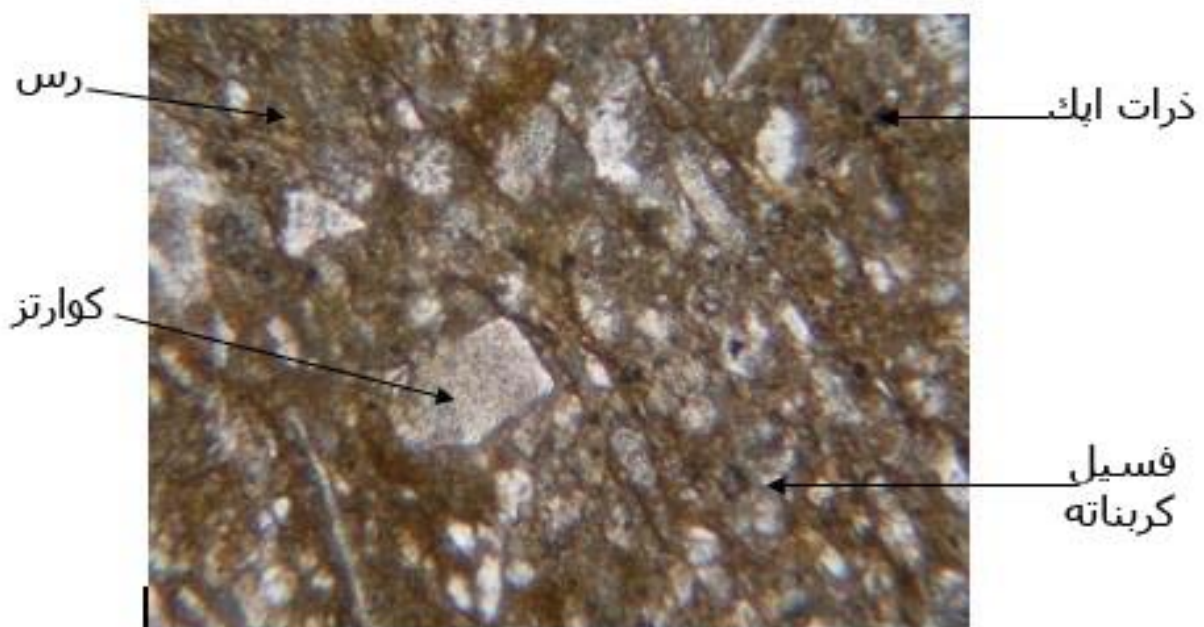
در منطقه ۳، بلورهای کوارتز طوسی رنگ به همراه ذرات اپک سیاه و کربنات کلسیم به صورت رنگی قابل مشاهده می‌باشند. نمونه‌های این منطقه دارای بافت ریزدانه می‌باشند که گاهی نیز نوارهایی از کانی‌های



تصویر ۷- مقطع نازک تهیه شده از منطقه ۳ (مقیاس: هر سانتیمتر روی شکل معادل ۱۲۵ میکرون، نور XPL)

در این مقطع ذراتی از فسیل های خانواده فرامینیفرهای پلانکتونیک (بیانگر وجود محیط عمیق در حوضه رسوبی است) مشاهده می گردند. این مقطع از نظر کانی شناسی حاوی درصدهای برابر از رس و کربنات کلسیم است (تصویر ۸).

در منطقه ۴، مارن ها حاوی ذرات اپک، اکسید آهن و کانی کلسیت با رخهای کاملاً مشخص هستند که در زمینه مقطع به صورت پراکنده و شکافه پرکن قابل مشاهده می باشند. در این منطقه میزان ذرات تخریبی کوارتز و دانه های اپک نسبت به نمونه های سایر مناطق کمتر است. میزان کربنات در این منطقه نسبت به مناطق دیگر افزایش یافته است.



تصویر ۸- مقطع نازک تهیه شده از منطقه ۴ (مقیاس: هر سانتیمتر روی شکل معادل ۱۲۵ میکرون، نور XPL)

باشند از توضیح جزئیات صر فنظر شده و فقط نتایج این آزمایشها ارائه می گردد. برای مطالعه جزئیات می توانید به کتاب مقدمه ای بر مکانیک سنگ مراجعه کنید (حسینی ۱۳۸۵). دستگاه مورد استفاده

۵- آزمایش های انجام شده بر روی نمونه ها

در این بخش فقط آزمایش پانچ بلوکی با جزئیات کامل توضیح داده می شود. سایر آزمایشها جزء آزمایشهای کلاسیک مکانیک سنگ می

تأثیرات اندازه و به دست آوردن مقدار اصلاح شده شاخص پانچ بلوکی یا BPI_c ارائه شده است. در این روش مقدار بار مورد استفاده در فرمول BPI ، توسط اعمال دو ضریب تصحیح مربوط به قطر و ضخامت اصلاح می گردد (رابطه ۲) (Ulusay et al. 2001).

$$BPI_{10,50}(BPI_c) = \frac{F_{10,50}}{A_{10,50}} = \frac{F_{t,D} \times 10^{-3} \times K_t \times K_D}{912 \times 10^{-6}} \quad \text{رابطه (۲)}$$

با توجه به این که قطر ۵۰ میلیمتر و ضخامت ۱۰ میلیمتر به عنوان مناسبترین مقادیر در نظر گرفته شده‌اند، با به کار بردن ضریب اصلاح قطر (K_D) و ضخامت (K_t)، مقدار $F_{t,D}$ (یا بار وارده به نمونه با قطر و ضخامت متفاوت) به $F_{10,50}$ (یا بار معادل برای قطر ۵۰ و ضخامت ۱۰ میلیمتر) تبدیل می شود. روابط ۳ و ۴ روش محاسبه این ضرایب را با توجه به قطر و ضخامت نمونه نشان می دهند (Ulusay et al. 2001).

$$K_t = 13.74 \times t^{-1.1265} \quad \text{رابطه (۳)}$$

$$K_D = 234.53 \times D^{-1.3926} \quad \text{رابطه (۴)}$$

مقدار BPI_c برای نمونه‌های تهیه شده به صورت تک تک محاسبه شد که نتایج آن در جدول ۲ آمده است. نتایج آزمایشهای تراکم تک محوری، بار نقطه‌ای، برزیلی و تعیین سرعت موج فشاری در جداول ۳ تا ۶ ارائه شده است (در شماره نمونه، اعداد سمت راست نشان دهنده منطقه نمونه گیری می‌باشند).

جهت انجام آزمایش پانچ بلوکی، در آزمایشگاه مکانیک سنگ دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره) قزوین طراحی و ساخته شد (تصویر ۹). این دستگاه از دو قسمت اصلی شامل تیغه پانچ کننده و بخش نگهدارنده پایینی تشکیل شده است. برای آنکه هر دو قسمت بتوانند در مقابل تنش‌های اعمالی بالا مقاومت کرده و تغییر شکل زیادی نداشته باشند، از جنس فولاد سخت با سختی ۵۸ راکول ساخته شدند. در این دستگاه اعمال بار توسط حرکت قسمت پایینی به سمت بالا صورت می‌گیرد.

در بخش نگهدارنده پایینی دستگاه، دو قطعه فولادی برای نگهداشتن نمونه تعبیه شده است. پس از قرار گرفتن نمونه در این ناحیه، دو قطعه فولادی بر روی آن گذاشته شده و توسط پیچ‌های موجود در جای خود ثابت می‌گردد. در امتداد بخش پایینی دستگاه و در قسمت میانی آن شیار تعبیه شده که قسمت پانچ کننده نمونه در آن فرو می‌رود. قسمت بالایی پانچ کننده هم به گونه‌ای طراحی شده که بتواند با داشتن فاصله ۰/۲۵ میلیمتری برای آزادی عمل درون این شیار وارد گردد. بلوک پانچ کننده توسط جای پیچی که در آن تعبیه شده است به قسمت نگهدارنده بالایی چارچوب دستگاه متصل و ثابت می‌شود (تصویر ۱۰).

تغییرات در ابعاد نمونه، بر نتایج آزمایش‌ها و مقدار BPI محاسبه شده تأثیرگذار است. در روش پیشنهادی $ISRM$ ، روشی برای اصلاح



تصویر ۹- شمای کلی از دستگاه پانچ بلوکی استفاده شده برای این تحقیق



تصویر ۱۰- جزئیات بیشتر دستگاه پانچ بلوکی

جدول ۲- نتایج آزمایش پانچ

شماره نمونه	BPI_C (MPa)	شماره نمونه	BPI_C (MPa)	شماره نمونه	BPI_C (MPa)	شماره نمونه	BPI_C (MPa)
۱-۱	۳/۹۰	۲-۲	۶/۸۹	۳-۳	۶/۷۱	۴-۲	۶/۸۵
۲-۱	۳/۴۹	۵-۲	۷/۶۴	۱-۳	۶/۵۶	۶-۲	۳/۸۵
۳-۱	۵/۸۱	۷-۲	۷/۸۵	۲-۳	۷/۳۵	۸-۲	۳/۴۴
۱-۲	۸/۵۸	۹-۲	۶/۳۵	۳-۳			۲/۱
۲-۲	۷/۳۱			۴-۳			۶/۹۷
۳-۲	۵/۷۰			۵-۳			

جدول ۳- نتایج آزمایش برزیلی

شماره نمونه	مقاومت کششی (σ_t) (MPa)	شماره نمونه	مقاومت کششی (σ_t) (MPa)	شماره نمونه	مقاومت کششی (σ_t) (MPa)	شماره نمونه	مقاومت کششی (σ_t) (MPa)
۱-۱	۱/۷۸	۲-۲	۴/۶۴	۳-۲	۳/۶۱	۴-۲	۳/۱
۲-۱	۲/۰۵	۷-۲	۳/۸۵	۵-۲	۲/۴۵	۶-۲	۱/۷۵
۳-۱	۲/۳۸	۸-۲	۴/۴۳	۸-۲	۶/۱۵	۹-۲	۱/۷
۱-۲	۵/۸	۹-۲	۴/۱۵	۹-۲	۳/۱۵		۱/۳

جدول ۴- نتایج آزمایش تراکم تک محوری کل نمونه ها

شماره نمونه	شماره نمونه	شماره نمونه	شماره نمونه	شماره نمونه	شماره نمونه	شماره نمونه	شماره نمونه
۱-۱	۳۷/۶۲	۲-۲	۸۲/۶۴	۳-۳	۸۲/۴۲	۴-۲	۴۲/۲۱
۲-۱	۳۴/۱۹	۵-۲	۶۵/۷۸	۱-۳	۵۰/۱۵	۱-۴	۳۶/۴۵
۳-۱	۵۲/۰۴	۶-۲	۸۴/۶۳	۲-۳	۳۵/۱۲	۲-۴	۳۱/۸۷
۱-۲	۹۴/۲۶	۷-۲	۷۱/۴۲	۳-۳	۶۹/۹۴	۳-۴	۱۶/۹۸
۲-۲	۸۱/۴۰	۸-۲	۸۵/۱۰	۴-۳	۳۳/۷۶	۴-۴	۴۷/۸۶
۳-۲	۵۱/۶۵	۹-۲	۷۵/۷۸	۵-۳	۲۴/۰۲		

جدول ۵- نتایج آزمایش بار نقطه‌ای

شماره	شاخص بار نقطه‌ای (MPa)	شماره نمونه	شاخص بار نقطه‌ای (MPa)	شماره نمونه	شماره نمونه	شاخص بار نقطه‌ای (MPa)	شماره نمونه
۱-۱	۱/۵	۳-۲	۲/۲	۸-۲	۴	۵-۳	۰/۷
۲-۱	۱/۴	۴-۲	۳/۴	۹-۲	۳/۶	۶-۳	۱/۴
۳-۱	۲	۵-۲	۲/۷	۱۰-۲	۳/۴		
۱-۲	۵/۶	۶-۲	۴	۲-۳	۱/۴		
۲-۲	۳/۴۸	۷-۲	۳/۲	۴-۳	۱		

جدول ۶- نتایج آزمایش تعیین سرعت موج فشاری

شماره نمونه	سرعت موج (m/s)	شماره نمونه	سرعت موج (m/s)	شماره نمونه	سرعت موج (m/s)	شماره نمونه	سرعت موج (m/s)
۱-۱	۲۴۳۸/۹۹	۴-۲	۳۷۰۳/۴۶	۱۰-۲	۳۵۷۲/۶۶	۱-۴	۲۴۰۰/۱
۲-۱	۲۳۴۷/۶۱	۵-۲	۳۳۷۳/۰۱	۱-۳	۲۷۹۶/۷۴	۲-۴	۲۳۰۰/۲۴
۳-۱	۲۵۷۸/۷۲	۶-۲	۳۷۷۸/۶۲	۲-۳	۲۵۶۲/۲۴	۳-۴	۲۰۰۰/۱۵
۱-۲	۳۹۷۹/۳۷	۷-۲	۳۳۹۹/۶۷	۴-۳	۲۱۸۹/۴۴		
۲-۲	۳۵۱۱/۳۴	۸-۲	۳۸۶۷/۳۳	۵-۳	۲۰۰۷/۱۵		
۳-۲	۳۲۷۶/۹۲	۹-۲	۳۴۷۵/۳۴	۶-۳	۲۶۳۹/۱۸		

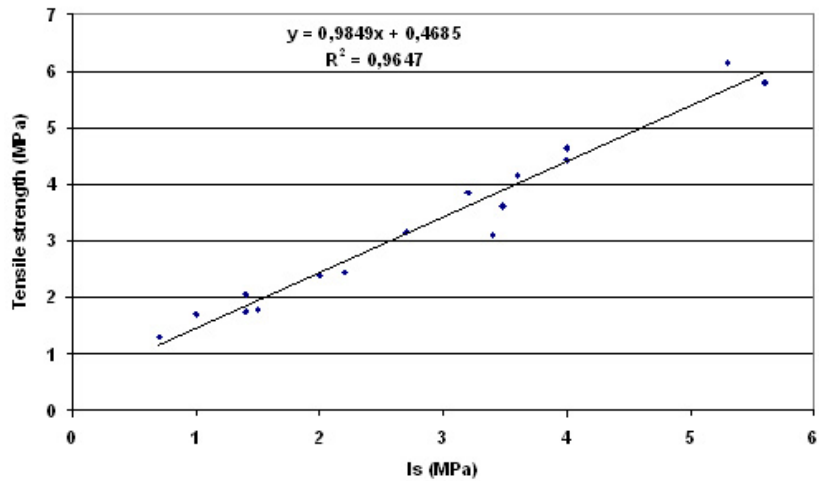
۴- تمییز و تحلیل نتایج آزمایش‌ها

هدف از این تحقیق، بدست آوردن روابطی است که با استفاده از آنها بتوان خصوصیات مهندسی سنگ مارن را تخمین زد (جدول ۷ و تصاویر ۱۱ تا ۱۷). این روابط با استفاده از نتایج آزمایش‌های پانچ بلوکی، تراکم تک محوری، بار نقطه‌ای، برزیلی و تعیین سرعت موج فشاری به وسیله تحلیل رگرسیون خطی به دست آمده‌اند. بر این

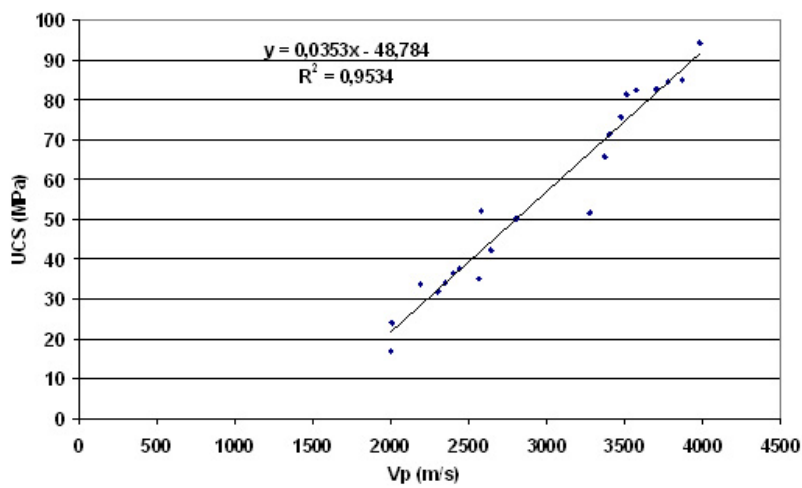
اساس می‌توان به کمک آزمایش پانچ بلوکی، مقاومت تراکم تک محوری، شاخص بار نقطه‌ای و سرعت موج فشاری را تخمین زد. با تخمین شاخص بار نقطه‌ای نیز می‌توان مقاومت کششی را به کمک یکی از روابط جدول ۷ تخمین زد. در جدول ۷، روابطی نیز جهت تخمین مقاومت تراکم تک محوری از روی شاخص بار نقطه‌ای و مقاومت کششی، ارائه شده است.

جدول ۷- روابط به دست آمده برای تخمین خصوصیات مهندسی سنگ مارن

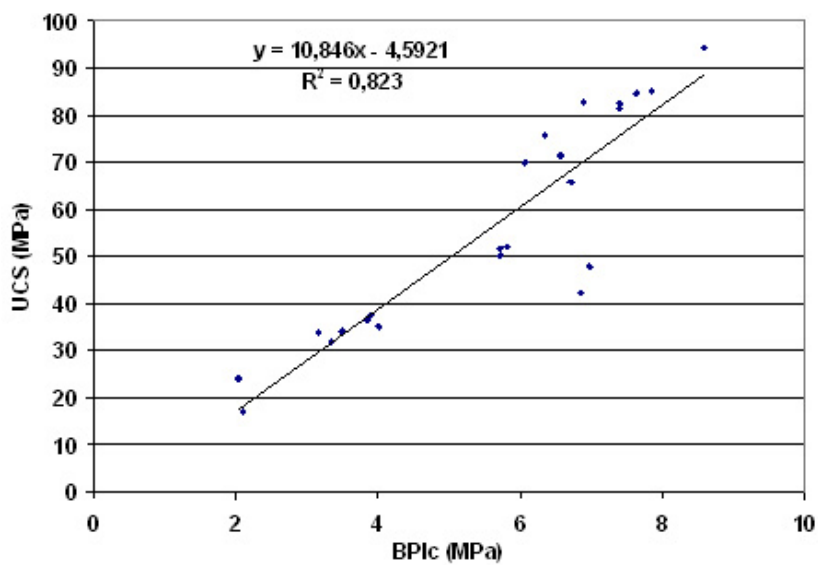
رابطه آماری	متغیرها
$UCS=0.0353V_p-48.784$ ($R^2=0/95$)	مقاومت تراکم تک محوری و سرعت موج
$UCS=10.846BPI_C-4.5921$ ($R^2=0/82$)	مقاومت تراکم تک محوری و شاخص پانچ
$UCS=14.847I_s+19.887$ ($R^2=0/90$)	مقاومت تراکم تک محوری و شاخص بار نقطه‌ای
$UCS=14.137\sigma_t+15.793$ ($R^2=0/81$)	مقاومت تراکم تک محوری و مقاومت کششی
$\sigma_t=0.9849I_s+0.4685$ ($R^2=0/96$)	مقاومت کششی و شاخص بار نقطه‌ای
$V_p=309.92BPI_C-1259$ ($R^2=0/87$)	سرعت موج و شاخص پانچ
$I_s=0.7051BPI_C-1.2884$ ($R^2=0/79$)	شاخص بار نقطه‌ای و شاخص پانچ



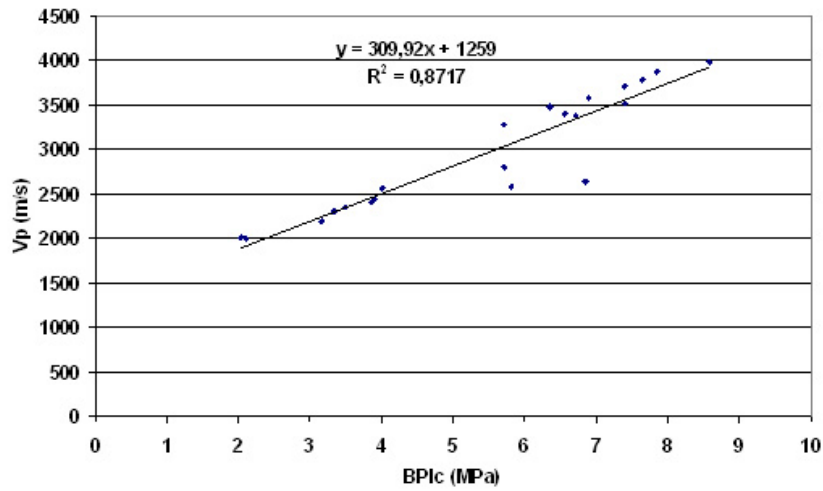
تصویر ۱۱- ارتباط مقاومت کششی با شاخص بار نقطه‌ای



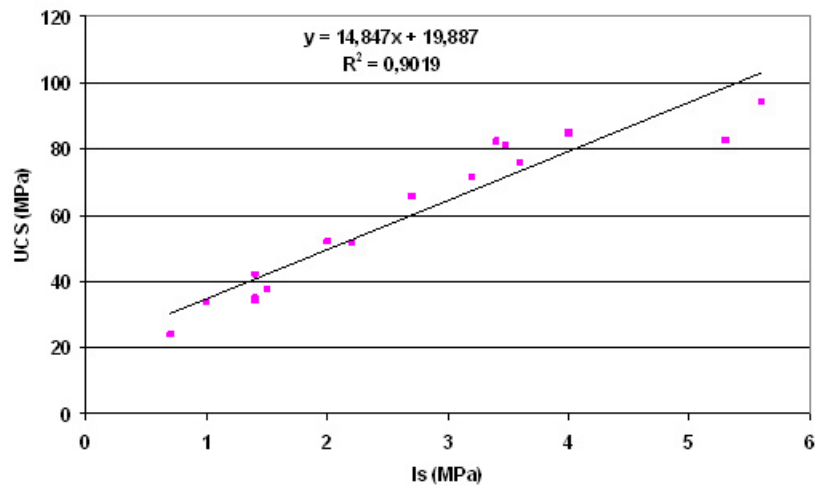
تصویر ۱۲- ارتباط مقاومت تراکم تک محوری با سرعت موج



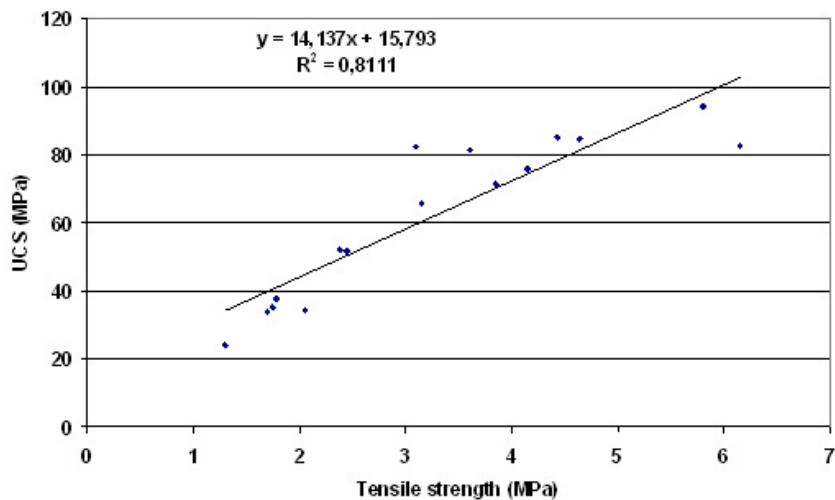
تصویر ۱۳- ارتباط مقاومت تراکم تک محوری با شاخص پانچ



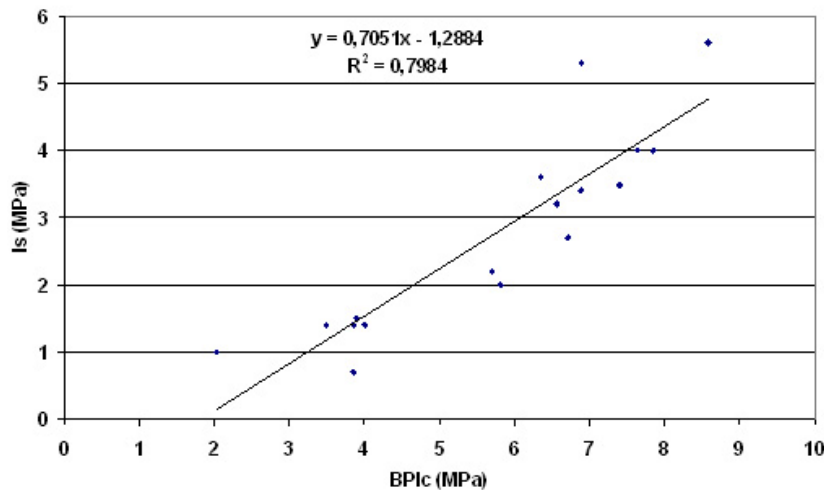
تصویر ۱۴- ارتباط سرعت موج با شاخص پانچ



تصویر ۱۵- ارتباط مقاومت تراکم تک محوری با شاخص بار نقطه ای



تصویر ۱۶- ارتباط مقاومت تراکم تک محوری با مقاومت کششی



تصویر ۱۷- ارتباط شاخص بار نقطه ای با شاخص پانچ

۷- نتیجه‌گیری

در این پژوهش، خصوصیات مهندسی سنگ مارن مورد بررسی قرار گرفت. تهیه مغزه‌های استاندارد (برای آزمایشهایی مانند تراکم تک محوری) از سنگهای سست لایه و سنگهای متورق با لایه‌بندی ریز و دارای شکستگی سطوح ضعیف زیاد (مانند سنگ مارن)، امری مشکل است.

در این تحقیق روابطی جهت تخمین خصوصیات مهندسی سنگ مارن ارائه گردید، تا با انجام آزمایشهایی مانند پانچ بلوکی، اندیس بار نقطه‌ای و اندازه گیری سرعت صوت، بتوان این خصوصیات را تخمین زد. آزمایش پانچ بلوکی (به دلیل آنکه ضخامت نمونه در حد یک سانتیمتر می باشد و تهیه این نمونه در این دسته از سنگها کاری آسان است) از اهمیت خاصی برخوردار است. در ادامه، با انجام آنالیزهای رگرسیون، روابط بین این پارامترها تعیین شد.

بر اساس مطالعات میکروسکوپی، مقدار کوارتز و کانی‌های اپک تاثیر مهمی در مقاومت تراکم تک محوری سنگ مارن دارند. به عنوان مثال؛ در نمونه منطقه ۲ که درصد این ذرات از دیگر نمونه ها زیادتیر است، مقدار متوسط مقاومت بیشتر از نمونه‌های سایر مناطق است. در صورتی که در منطقه ۴ که درصد این ذرات از دیگر نمونه ها کمتر است، کمترین مقدار متوسط مقاومت حاصل می گردد. همچنین به کمک روابط به دست آمده از رگرسیون خطی (بر اساس نتایج آزمایشهای پانچ بلوکی، تراکم تک محوری، بار نقطه ای، برزیلی و تعیین سرعت موج فشاری)، می‌توان خصوصیات سنگ مارن را با دقت بالایی تخمین زد.

ضریب همبستگی روابط به دست آمده نیز بین ۰/۷۹ تا ۰/۹۶ محاسبه گردید.

مراجع

- احمدی، م.، ۱۳۸۳، "بررسی تعیین مقاومت تک محوری سنگ آهک با استفاده از دستگاه پانچ"، مجموعه مقالات دومین کنفرانس مکانیک سنگ ایران، دانشگاه تربیت مدرس: ۴۳۹-۴۲۹.
- پایگاه ملی داده‌های علوم زمین کشور، ۱۳۹۱، قابل دسترسی از طریق www.ngdir.ir.
- جعفری، ا.، نیکودل، م. و احمدی، م.، ۱۳۸۹، "ارزیابی ویژگی های مقاومتی سنگها با استفاده از نتایج آزمایش پانچ بلوکی و پانچ استوانه‌ای"، مجله علوم دانشگاه تهران، جلد ۳۶ (۱): ۱۸۳-۱۶۹.
- حسینی، م.، ۱۳۸۵، "مقدمه‌ای بر مکانیک سنگ"، انتشارات ایده گستر قم، ۱۳۴ ص.
- فهیمی‌فر، ا. و سروش، ح.، ۱۳۸۰، "آزمایش های مکانیک سنگ، جلد اول"، انتشارات شرکت سهامی آزمایشگاه فنی و مکانیک خاک، ویرایش اول، ۷۱۹ ص.
- کیانپور، م.، ارومیه‌ای، ع. و نیکودل، م.، ۱۳۹۰، "بررسی روشهای غیر مستقیم تخمین مقاومت تراکم تک محوری شیل های سازند شمشک"، فصلنامه زمین شناسی کاربردی دانشگاه آزاد اسلامی واحد زاهدان، سال ۷ (۱): ۹۰-۷۷.
- موسوی حرمی، ر.، ۱۳۷۹، "رسوب شناسی"، انتشارات آستان قدس رضوی، ۴۷۴ ص.
- نیکودل، م. و باغبانیان، ع.، ۱۳۸۰، "کاربرد دستگاه پانچ برای تعیین خصوصیات مقاومتی سنگهای ناهمسانگرد"، مجموعه مقالات اولین کنفرانس مکانیک سنگ ایران، دانشگاه تربیت مدرس: ۱۴۱-۱۳۷.
- Aksoy, C. O., Ozacar, V., Demirel, N., Ozer, S. C. & Safak, S., 2011, "Determination of instantaneous breaking rate by geological Strength index, block punch index and power impact hammer for various rock mass condition", *Tunnelling and Underground Space Technology*, Vol. 26 (4): 534-540
- Lacharite, N., 1960, "A study to correlate the shearing, bending and compression properties of rocks", *Fuels and mine Pract. Div., Mines Branch, Can Dept. Mines and Tech. Surv., Ottawa, IR 60/38FMIN. 17pp.*

Shrier van der, J. S., 1988, "The block punch index test", *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, Vol. 38 (1): 121-126.

Sonmez, H. & Tunusluoglu, C., 2008, "New considerations on the use of block punch index test for predicting the uniaxial compressive strength of rock material", *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, Vol. 45 (6): 1007-1014.

Ulusay, R., Gokceoglu, C. & Sulukcu, S., 2001, "Mechanics ISRM, Draft ISRM Suggested method for determining block punch strength index (BPI)", *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, Vol. 38: 1113-1119.

Vutukuri, V.S., Lama, R.D. & Saluja, S.S., 1974, "Handbook on mechanical properties of rocks", *Trans Tech. Publications*, Vol. 1, 146-148.

Zhang, L., 2005, "Engineering properties of rocks", *Elsevier Geo-Engineering Book Series*, 308 pp.