بررسی ویژگی‌های ژئومکانیکی واحدهای سنگی تونل شرقی معدن زغال‌سنگ پروده طبس و ارائه روابط تجربی

محدثه صادقی[۱]، ناصر حافظی مقدس[۲*]، محمد غفوری[۲]، مهرداد امیری[۳]، علی بشری[۴]

۱. کارشناس ارشد زمین‌شناسی مهندسی، گروه زمین‌شناسی دانشگاه فردوسی مشهد
۲. استاد، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد
۳. دکتری،گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد
۴. دکتری، سرپرست دفتر فنی و طراحی شرکت زغال سنگ طبس

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۳/۰۷ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۴/۲۹

چکیده

طراحی سازه‌های زیرزمینی یا سطح الارضی بر روی بستر سنگی وابسته به خواص فیزیکی و مکانیکی می‌باشد. با توجه به این که در معدن زغال‌سنگ طبس روش استخراج جبهه کار طولانی و از نوع تخریبی است لذا ارزیابی خصوصیات ژئومکانیکی سنگ‌های در برگیرنده ضرورت بیشتری دارد. در این پژوهش به بررسی خصوصیات واحدهای سنگی تونل شرقی شماره ۳ معدن پروده زغال‌سنگ طبس پرداخته شده است. مطالعه بر روی ۳ نمونه سنگ شامل شیل، ماسه‌سنگ و گل‌سنگ مطالعه انجام شده است. با توجه به اهمیت موضوع در این پژوهش روابط تجربی جدید ارائه شده است. برای رسیدن به خصوصیات ژئومکانیکی و روابط تجربی آزمون‌های فیزیکی شامل تخلخل، درصد جذب آب و وزن واحد حجم و خصوصیات مکانیکی شامل مقاومت فشاری تک‌محوری، شاخص بار نقطه‌ای، مقاومت کششی برزیلی، آزمایش برش مستقیم، دوام داری، شاخص شکنندگی انجام شده است. برای رسیدن به هدف مورد نظر مناسب‌ترین روابط با استفاده از روش رگرسیون ارائه گردیده است. تحلیل‌های آماری وجود همبستگی خوب پارامترهای مختلف را در نمونه‌های شیل، ماسه‌سنگ و گل‌سنگ نشان می‌دهند.

کلید واژه‌ها: خصوصیات فیزیکی و مکانیکی، شیل، ماسه‌سنگ، گل‌سنگ، تونل زغال‌سنگ.

مقدمه

در چند دهه‌ی اخیر به‌منظور کوتاه نمودن مسیر و همچنین دستیابی به مواد معدنی، اجرای حفاری‌های زیرزمینی سرعت فزاینده‌ای به خود گرفته است. اکتشاف، طراحی و برقراری ایمنی تونل‌ها و به‌طورکلی فضاهای زیرزمینی در حین ساخت و در صورت لزوم پایداری درازمدت آن، ازجمله مسائلی است که بایستی توسط طراحان مدنظر قرار گیرد. در این صورت لازم است قبل از حفاری اطلاعات جامعی از زمین‌شناسی، زمین‌شناسی ساختمانی و زمین‌شناسی مهندسی محدوده اجرای آن‌ها تهیه گردد (Ahmadi khounsaraki et al., 2024). نقش زمین‌شناسان مهندس در چنین پروژه‌هایی با توجه به موضوعات

* نویسنده مسئول: nhafezi@um.ac.ir
DOI: http://doi.org/10.22034/JEG.2022.16.2.1016553

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-01]
[DOI: 10.22034/JEG.2022.16.2.1016553]

و مسئولیت‌های خود که باید با طیف وسیعی از مسائل روبه‌رو شوند، حیاتی است (Ahmadi Khounsaraki et al., 2024). رفتار مکانیکی برخی نهشته‌های طبیعی به دلیل ساختار ذرات فرآیند رسوب‌گذاری و تاریخچه بارگذاری وجود درزه و شکاف آن‌ها باعث ناهمسان شدن و خواص مکانیکی آن در راستاهای مختلف متفاوت می‌شود. این نوع ناهمسانی در لایه‌های زغال‌سنگ قابل مشاهده است که این مدول تغییر شکل اهمیت بسیار مهمی در سازه‌های ژئوتکنیکی مانند تونل‌ها و سدها دارد (Aggson & Curran, 1978). به منظور پیش‌بینی رفتار سنگ در یک کارگاه استخراج زغال‌سنگ می‌بایست نحوه توزیع مجدد تنش و مناطق تمرکز آن مشخص شود. بدیهی است که تنش‌های زمین قبل از ایجاد تونل در حال تعادل بوده و با ایجاد تونل تنش‌های موجود برانگیخته می‌شوند. برانگیختن تنش در اطراف تونل‌های زیرزمینی باعث ایجاد تغییر شکل و ایجاد پتانسیل ناپایداری می‌شود. بدین منظور تنش‌ها در زمین و اثر آن‌ها بر تونل‌های زیرزمینی تحلیل‌شده و با طراحی تحکیم و نگهداری، پایدارسازی انجام می‌شود (Sena Cice, 2020).

در آمریکا تحقیقات در حوزه زغال‌سنگ عمدتاً بر حوزه ایلینوی متشکل از ذخایر زغال از بخش بزرگ‌تر ایلینوی و بخش‌هایی از ایندیانا غربی و کنتاکی غربی متمرکزشده است. اولین تحقیقات موجود بر روی بافته‌ای توده سنگ بر فراز طبقه‌های ضعیف انجام شده است (Freer, 1982 به نقل از صادقی،۱۴۰۲). در دو دهه اخیر بررسی تنش‌ها و رفتار توده‌های زغال‌سنگ جهت بهبود مشکلات معادن موردتوجه بسیاری از محققین ایران و جهان قرار گرفته است.

Xiao et al. (2021) به بررسی تخلخل مؤثر و حساسیت استرس‌های موجود زغال‌سنگ با توجه به شکستگی‌های طبیعی پرداختند که بر اساس این پژوهش در معدن زغال تاشان چین، آزمایش‌های تراموا پذیری تحت فشارهای مختلف محصور سازی هیدرواستاتیک انجام شد. با توجه به عوامل مؤثر بر توزیع شکستگی طبیعی، ضریب حساسیت تخلخل مؤثر نفوذپذیری، ضریب حساسیت استرس در تخلخل مؤثر و ضریب حساسیت استرس نفوذپذیری به‌صورت کمی مورد تجزیه‌وتحلیل قراردادند. همچنین Wang et al. (2023) به مطالعه درجه تأثیر پارامترها و خصوصیات مهندسی با استفاده از آزمایش‌های مقاومت کششی برزیلین، شاخص شکنندگی، ضریب یکپارچگی سنگ و فشار مقاومت تک‌محوری و سه محوری در زمان حفاری تونل‌ها با سنگ رسوبی سخت پرداختند که نتایج آن‌ها ایجاد مرجعی برای اندازه‌گیری و انتخاب دستگاه حفاری برای تونل‌های سنگ‌های سخت رسوبی باشد.

Salimi et al. (2022) به مروری بر روش‌های ترکیب ویژگی‌های زمین‌شناسی و ژئوتکنیکی توده‌های سنگی در ارزیابی‌های انفجار پذیری پرداختند که این پژوهش با هدف بررسی رویکرد توسعه یافته برای ارزیابی انفجار پذیری زغال‌سنگ در طراحی سه بعدی به مروری بر روش‌های ترکیب ویژگی‌های زمین‌شناسی و ژئوتکنیکی توده‌های سنگی پرداخته است.

Ghobadi et al. (2020 a) خصوصیات زمین‌شناسی مهندسی سنگ‌ها به ترکیب کانی‌شناسی، بافت و میزان هوازدگی آن وابسته است. در ادامه Ghobadi et al. (2020 b) در پژوهشی دیگر با بررسی خصوصیات زمین‌شناسی مهندسی پریدوتیت‌ها در شهرستان هرسین استان کرمانشاه به این نتیجه رسیدند که انطباق بیشتری بین خصوصیات در شرایط خشک نسبت به اشباع را نشان می‌دهد. Ghobadi et al. (2021) خصوصیات سنگ‌شناسی، ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی ماسه‌سنگ‌ها بررسی کردند. نتایج نشان داد که تفاوت در خصوصیات سنگ‌شناسی و فیزیکی ماسه‌سنگ‌ها منجر به تغییر در خصوصیات مکانیکی آن‌ها شده است و انطباق مناسبی بین نتایج آزمایش مقاومتی با سرعت موج طولی در حالت خشک و اشباع وجود

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-01]
[DOI: 10.22034/JEG.2022.16.2.1016553]

دارد. پژوهشی توسط Azarafza et al. (2019) بر روی خصوصیات زمین‌شناسی مهندسی مارن‌های عسلویه انجام گرفت. خواص فیزیکی شامل تخلخل، دانسیته، حدروانی و خصوصیات مکانیکی مارن‌های منطقه عسلویه شامل آزمایش مقاومت فشاری تک‌محوری، آزمایش دوام وارفتگی و تعیین‌شده‌اند. آن‌ها در این پژوهش به این نتیجه رسیدند که در سنگ‌های رسوبی دارای رس زیاد مانند مارن، در آزمایش دوام وارفتگی هر چه تعداد سیکل‌های آزمایش افزایش یابد میزان افت وزنی زیادی در نمونه‌ها رخ می‌دهد و بالعکس. پژوهشی توسط Rahimi Shahid et al. (2022) بر روی سنگ آهک‌های همدان انجام شد آن‌ها بر روی خصوصیات مهندسی سنگ آهک کار کردند و با استفاده از آزمایش‌های بار نقطه‌ای و تخلخل پارامتری جدید ارائه داده‌اند و روابط تجربی خوبی به دست آورده‌اند. در جدول ۱ رفتار برخی از مطالعات انجام‌گرفته بر روی معادن زغال‌سنگ در ایران و بقیه مناطق آورده شده است.لذا با توجه به اهمیت خصوصیات ژئومکانیکی، در این پژوهش به ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی سنگ‌های دربرگیرنده تونل شرقی شماره ۳ زغال‌سنگ پرورده طبس انجام شده است. در شکل ۱ موقعیت محدود مورد مطالعه و شکل ۲ کروکی و نقشه همه تونل‌های معدن و شکل ۳ تصویر هوایی معدن زغال‌سنگ طبس به همراه مختصات جغرافیایی آورده شده است.

جدول ۱. برخی از مطالعات پیشیین انجام گرفته

Table 1. Some of previous studies conducted

محقق	موضوع پژوهش	نتایج
منصوری علی آبادی و همکاران (۱۳۹۵)	مدلسازی عددی سه بعدی پدیده بالازدگی کف تونل باربری در روش جبهه کار بلند مکانیزه معدن زغال‌سنگ طبس	در این مقاله به بررسی علل مشکلات تونل‌ها مانند بالا زدگی و تورم پرداخته که به ارائه طرح سیستم نگهداری از نوع قاب فولادی انجامیده است.
صفری کنگ (۱۳۹۴)	بررسی زمین‌شناسی مهندسی سازند شوریجه، شرق سازند کپه داغ	این محقق با استفاده از آزمون‌های آزمایشگاهی متداول مکانیک سنگ به بررسی خصوصیات پتروگرافی ماسه‌سنگ در رفتار مکانیکی سنگ‌ها پرداخته است بر طبق مطالعات ایشان مقاومت فشاری را می‌توان به‌عنوان مهم‌ترین و پرکاربردترین ویژگی این سنگ‌ها دانست.
Zhang et al. (2021)	مطالعه شبیه‌سازی مشابه در مورد تغییر شکل و شکست سنگ اطراف تونل‌های زیرزمینی معادن زغال‌سنگ	با توجه به نتایج به‌دست‌آمده از پژوهش نشان داد که توده سنگ‌های تحت بارگذاری دینامیکی، تنش عمودی سنگ اطراف تونل به‌صورت نوسانی افزایش خواهد یافت.
Salimi et al. (2022)	مروری بر روش‌های ترکیب ویژگی‌های زمین‌شناسی و ژئوتکنیکی توده‌های سنگی در ارزیابی‌های انفجار پذیری برای طراحی انفجار انتخابی	این پژوهش با هدف بررسی رویکرد توسعه‌یافته برای ارزیابی انفجار پذیری زغال‌سنگ در طراحی سه‌بعدی به مروری بر

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-01]

[DOI: 10.22034/JEG.2022.16.2.1016553]

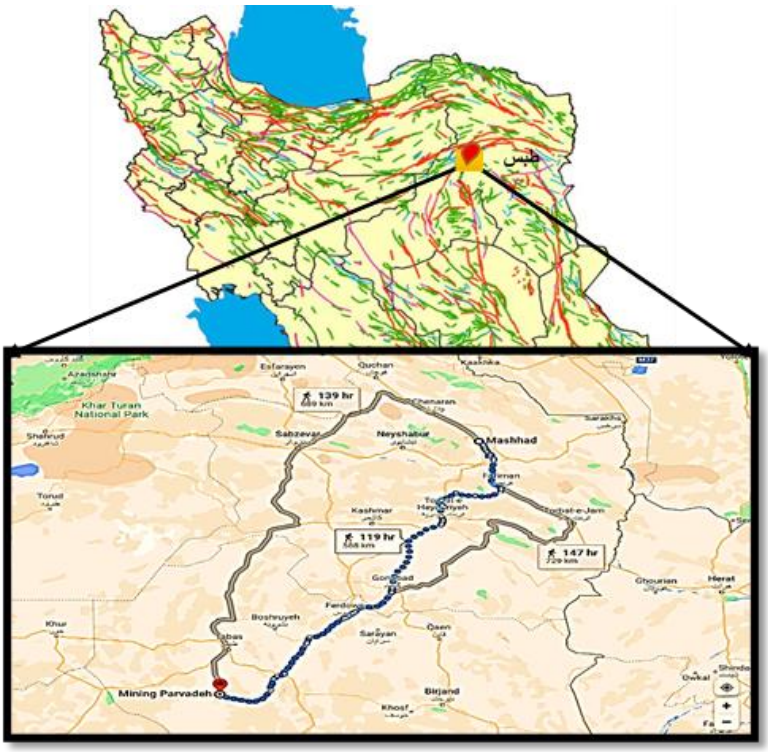
		روش‌های ترکیب ویژگی‌های زمین‌شناسی و ژئوتکنیکی توده‌های سنگی پرداخته است.
Xiao et al. (2021)	بررسی تخلخل مؤثر و حساسیت استرس‌های موجود زغال‌سنگ با توجه به شکستگی‌های طبیعی	در این پژوهش بر اساس زغال‌سنگ معدن زغال تاشان چین، آزمایش‌های تراموا پذیری تحت‌فشارهای مختلف محصور سازی هیدرواستاتیک انجام شد. با توجه به عوامل مؤثر بر توزیع شکستگی طبیعی، ضریب حساسیت تخلخل مؤثر نفوذپذیری، ضریب حساسیت استرس در تخلخل مؤثر و ضریب حساسیت استرس نفوذپذیری به صورت کمی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه

معدن زغال‌سنگ پروده بر اساس تقسیمات کشوری در شمال شرق خراسان جنوبی و ۷۵ کیلومتری جنوب طبس دارای جایگاه زمین‌شناسی ساختمانی در زون ایران مرکزی واقع شده است. منطقه زغال دار پروده در منطقه ساختمانی-تکتونیکی آنتی کلین نایبند- طبس قرار گرفته است. از شمال به گسل رستم (رخنمون لایه‌های زغالی پرورده)، از شرق به رخنمون‌های لایه‌های زغالی از جنوب به گسل قوری چای منطقه پرورده شرقی و از غرب به گسل F31 جدا کننده پروده چهار و پروده شرقی در برگرفته محدود می‌شود. ساختمان زمین‌شناسی از یک تاقدیس بزرگ تشکیل‌شده که یال شمالی آن تقریباً به طورکامل به وسیله گسل پرورده قطع‌شده است. در قسمت جنوب شرقی پرورده، رسوبات زغال دار به‌وسیله رسوبات کواترنری و بازالت‌های کواترنری پوشیده شده و تقریباً تا نزدیکی گسل نایبند امتداد دارد. شمال ناحیه پروده، یک دشت کاملاً هموار و باتلاق های نمک فرا گرفته و به سمت جنوب رسوبات تریاس و ژوراسیک ارتفاعات نه چندان مرتفع را به وجود آورده است. شرق ناحیه به ارتفاعات شتری و غرب آن به ارتفاعات «کمر مهدی» محدود می شود (صادقی، ۱۴۰۲).

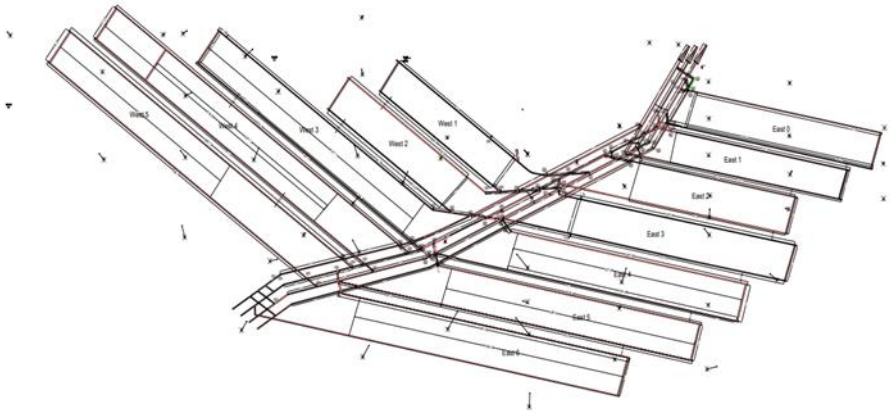
[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-01]

[DOI: 10.22034/JEG.2022.16.2.1016553]



شکل۱. موقعیت جغرافیایی و راه های دسترسی به منطقه مورد مطالعه

Fig. 1. Geographic location and access routes to the study area

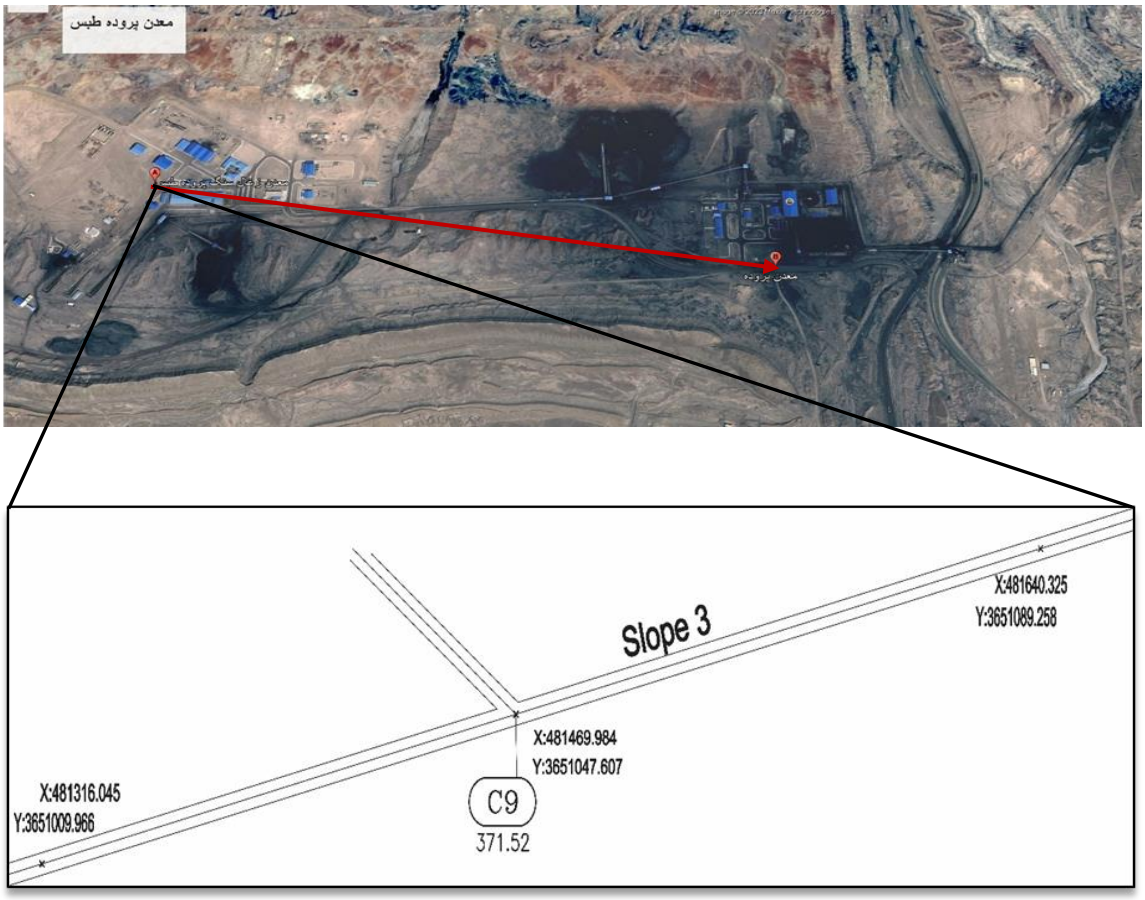


شکل۲. نمای کلی معدن زغالسنگ پروده طبس(گزارش زمین شناسی معدن زغالسنگ طبس

Fig. 2. General view of the Parvadeh coal mine, Tabas (Tabas coal geology report)

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-01]

[DOI: 10.22034/JEG.2022.16.2.1016553]



شکل۳. شماتیک از تونل مورد مطالعه و مختصات برداشت شده از داخل تونل

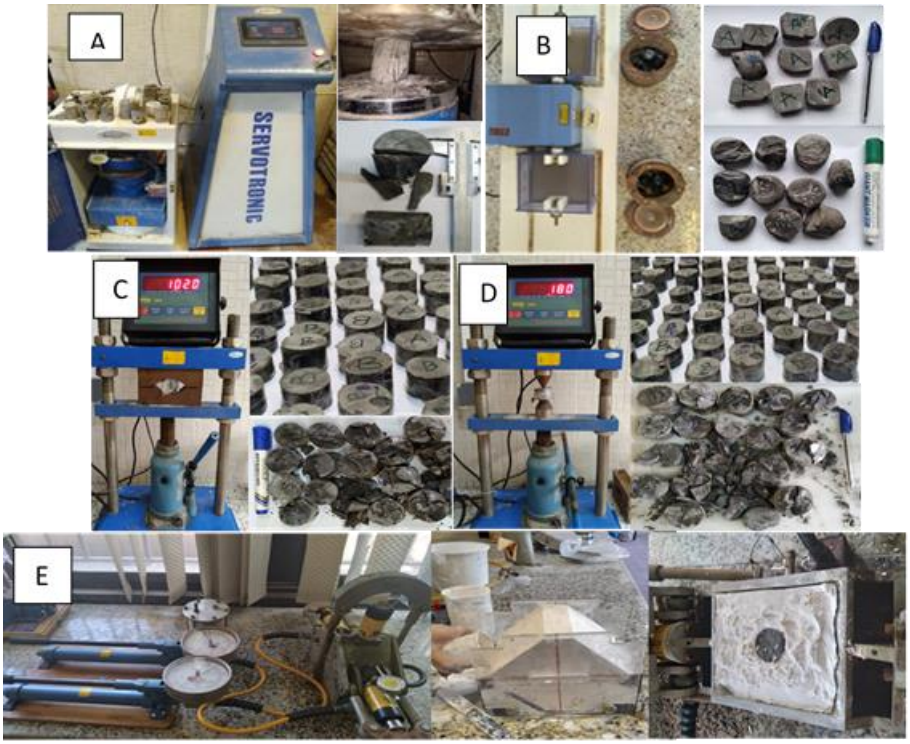
Fig. 3. Schematic of the studied tunnel and coordinates taken from inside the tunnel

مواد و روش‌ها

در این پژوهش خصوصیات ژئومکانیکی توده سنگ‌های تونل شرقی شماره ۳ معدن زغال‌سنگ طبس مورد بررسی قرار گرفته است. بدین منظور تعدادی منابع مختلف گردآوری و آزمایش شد. در مرحله بعد بازدیدهای میدانی انجام شده است. در این بازدیدها از نظرات افراد متخصص شاغل در معدن استفاده گردید. در این بازدیدها ضمن آشنایی با شرایط فیزیکی محل اجرای طرح، اطلاعات محلی دیگر نیز جمع‌آوری شده است. در مرحله بعد آزمون‌های آزمایشگاهی انجام گرفت که در آزمایشگاه ضمن تعیین ویژگی‌های مکانیکی و فیزیکی نمونه‌های سنگی اخذ شده از گمانه‌های برداشته و بلوک‌های سنگی در هر آزمایش، بررسی برخی از عوامل مؤثر بر نتایج آزمایش‌ها در دستور کار قرار گرفته است. نهایتاً روابط بین پارامترها مورد بررسی قرار گرفته است. تونل مورد مطالعه در عمق ۵۷۵ تا ۶۰۰ متری زیر سطح زمین قرار گرفته است و واحدهای دربرگیرنده آن شامل سه لایه ماسه سنگ، گلسنگ و شیل می‌باشد. در مطالعه حاضر تعداد ۳۴ بلوک از نمونه سنگ‌ها انتخاب تا آزمایشات مختلف مکانیک سنگ بر روی نمونه‌ها صورت پذیرفت. آزمایش مکانیک سنگ مانند مقاومت فشاری تک‌محوری با نرخ بارگذاری کنترل شده و بر اساس استاندارد ISRM(1981)، آزمایش مقاومت کششی برزیلی بر اساس

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-01]
[DOI: 10.22034/JEG.2022.16.2.1016553]

استاندارد (ISRM(1981، تعیین خصوصیات فیزیکی بر اساس استاندارد (ISRM(1981، شاخص دوام بر اساس استاندارد (ISRM(1979 و تعیین سرعت امواج فشاری و برشی با استاندارد (1981) ISRM انجام شده است. تمامی آزمایش‌ها در آزمایشگاه مکانیک سنگ دانشگاه فردوسی مشهد به انجام رسیده است. در شکل ۴ تصاویری از تجهیزات مورد استفاده در آزمایشات نشان داده شده است.



شکل۴. تصاویری از دستگاه و نمونه های قبل و بعد از آزمایشات (A) فشار مقاومت تک محوری ، (B) دوام پذیری، (C) آزمایش برزیلی، (D) آزمایش بار نقطه‌ای E) آزمایش برش مستقیم

Fig. 4. Images of the apparatus and samples before and after the tests (A) Uniaxial compressive strength, (B) Durability, (C) Brazilian test, (D) Point load test (E) Direct shear test

سنگ شناسی

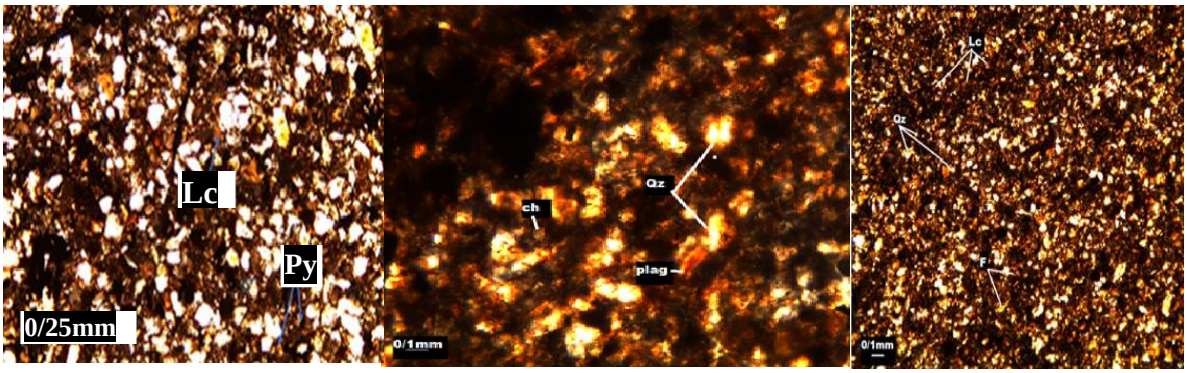
به منظور مطالعه میکروسکوپی نمونه‌های مورد مطالعه از نمونه‌های سنگی مقطع نازک تهیه گردید و نتایج به‌دست آمده به‌صورت زیر می‌باشد.

الف) نمونه‌های ماسه سنگ

مطالعات سنگ‌شناسی نمونه مورد نظر دارای کانی‌های تشکیل دهنده شامل تقریباً ۸۰ درصد کوارتز دانه‌ریز و کانی پلاژیوکلاز فلدسپار کمتر از ۵ درصد با ماکل پلی سنتیک دانه‌های اصلی تشکیل دهنده سنگ بوده و حدود ۸ درصد چرت دارد. همچنین

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-01]
[DOI: 10.22034/JEG.2022.16.2.1016553]

دارای خرده سنگ‌های متامورفیکی بوده و کمی کانی مسکویت به صورت ورقه‌های کشیده در اطراف بلورهای کوارتز قرار گرفته است. همچنین کانی‌های اپک و گلوکونیت در حد چند دانه در متن سنگ مشاهده می‌شود. دانه‌های کوارتز غالباً زاویه‌دار تا نیمه زاویه و دارای خاموشی موجی و مستقیم، دارای برجستگی خیلی کم و کارلسبات دارای سیمان سیلیس هم‌محور و بین‌دانه‌ای، به میزان کم سیمان کلریتی بلوغ ترکیبی خوب و بلوغ بافتی نسبتاً خوب همراه با اکسید پیریت، مرز مضرس بین دانه‌ها نشان از فشردگی زیاد دارد، دارای سختی بالایی می‌باشد. پدیده دگرسانی در سطح برخی از خرده‌سنگ‌ها ملاحظه می‌شود. نام سنگ در طبقه‌بندی ماسه‌سنگ اقتباس از فولک (۱۹۶۲) ساب لیت آرنایت و اقتباس از تاکر (۱۹۹۱) ماسه‌سنگ سیلتی می‌توان نام برد (شکل۵).



شکل ۵. تصاویر میکروسکوپی نمونه ماسه‌سنگ: Qz: کوارتز، Mus: مسکویت، F: فلدسپات پلاژیوکلاز، Slm: اسلیت و فیلیت، Mic: سیمان ریز بلور، Py: پیریت، Lc: اکسید آهن

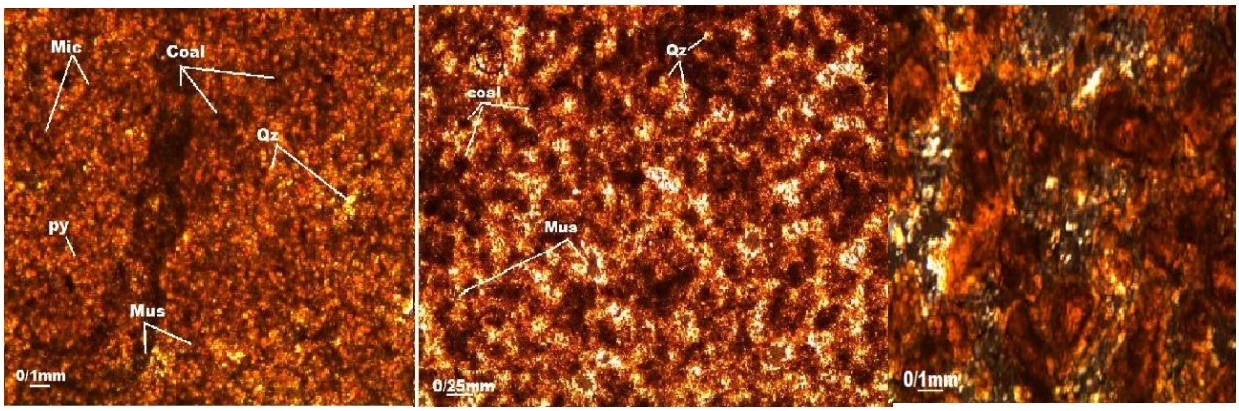
Fig. 5. Microscopic images of the sample sandstone: Qz: Quartz, Mus: Muscovite, F: Feldspar plagioclase, Slm: Slate and Filite, Mic: Crystalline fine cement, Py: Pyrite, Lc: Iron oxide

ب) نمونه‌های شیل

مطالعات سنگ‌شناسی نمونه مورد نظر دارای کانی‌های تشکیل‌دهنده که شامل کوارتز ریزدانه، فلدسپات تجزیه شده به صورت کانی رسی و مسکویت تغییر شکل یافته در حد ۵ درصد و رگچه های اکسید آهن و خرده‌های آواری زیاد، زمینه میکریتی تیره که برخی نقاط آن رشته‌های بسیار نازک و ناممتد اکسید شده است که دارای مقدار کانی‌های رسی، استیلولیت ها پیشرفت کرده و به رگه‌های انحلالی تبدیل شده و دارای جورشدگی و گردشدگی ضعیف در آمده اند. کوارتزها به صورت تجمعی بوده و دارای خاموشی مستقیم بوده و حدود ۵ درصد زاویه‌دار می‌باشد. کانی‌های فلدسپات از نوع پلاژیوکلاز با ماکل پلی سنتیک در حد ۲ درصد و سیمان تشکیل شده از چرت، میکریت و سیلیکاتهای مسکویت مشاهده می‌شود. همچنین

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-01]
[DOI: 10.22034/JEG.2022.16.2.1016553]

کانی‌های اپک بدون شکل در بدنه سنگ قابل دیدن می‌باشد. نام سنگ بین شیل و سیلتستون می‌توان نام برد که با توجه به جهت‌یابی موجود در سنگ، شیل قابل‌قبول‌تر می‌باشد (شکل ۶).

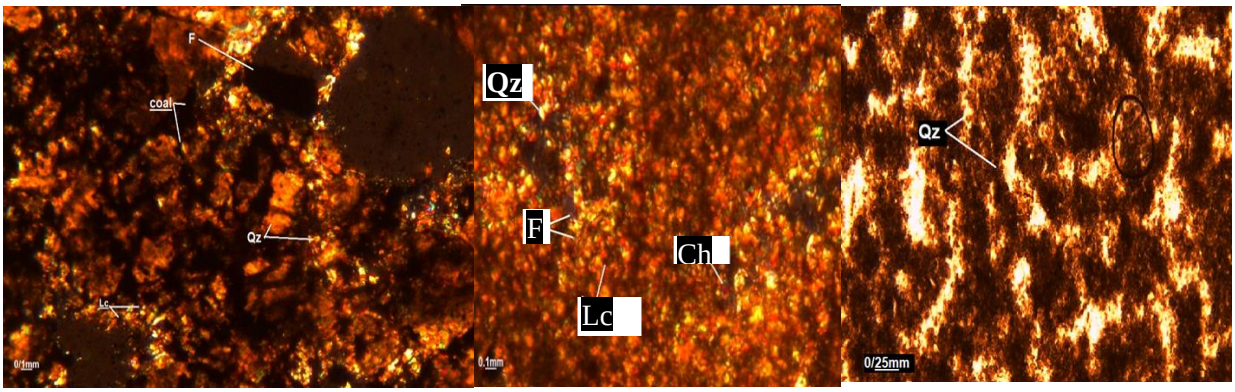


شکل ۶. تصاویر میکروسکوپی نمونه شیل: Qz: کوارتز، Mus: مسکویت، Mic: سیمان ریز بلور، Py: پیریت، Lc: اکسید آهن

Fig. 6. Microscopic images of the shale sample: Qz: Quartz, Mus: Muscovite, Mic: Crystalline fine cement, Py: pyrite, Lc: Iron oxide

ج) نمونه‌های گل‌سنگ

مطالعات سنگ‌شناسی نمونه مورد نظر دارای کانی‌های تشکیل‌دهنده شامل کوارتز دانه‌ای با تراکم پایین و خاموشی در این کانی از نوع مستقیم می‌باشد. خرده سنگ‌ها از نوع رسوبی با توجه به درصد فراوانی شامل خرده‌سنگ‌های چرتی و سیلتستونی می‌باشد. فلدسپات ها عمدتاً آلکالی بوده و برخی از آن‌ها پدیده سریسیتی شدن مشاهده می‌شود. اکسید آهن هماتیتی در سطح بلورها به فراوانی قابل مشاهده می‌باشد. شکل دانه‌ها در کوارتز به شکل زاویه‌دار تا نیمه گرد شده بوده اما خرده‌سنگ‌ها نیمه گرد شده می‌باشند. سیمان در این نمونه از نوع محوری در اطراف بلورهای کوارتز و سیمان کربناته از نوع کلسیتی می باشد. میزان بسیار محدود کانی مسکویت بصورت پراکنده و رشد دولومیت های آهن‌دار به‌صورت نواری شکل مشاهده می‌شود. نام این سنگ در تقسیم‌بندی لوتایت ها یا سنگ های رسوبی دانه ریز، گلسنگ (مادستون) می‌باشد. (شکل ۷).



شکل ۷. تصاویر میکروسکوپی نمونه گل‌سنگ: Qz: کوارتز، Mus: مسکویت، Mic: سیمان ریز بلور، Py: پیریت، Lc: اکسید آهن

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-01]

[DOI: 10.22034/JEG.2022.16.2.1016553]

Fig .7. Microscopic images of the sample Mudstone: Qz: Quartz, Mus: Muscovite, Mic: Crystalline fine cement, Py: Pyrite, Lc: Iron oxide

نتایج و بحث

ویژگی‌های زمین شناسی مهندسی

به منظور تعیین خصوصیات زمین شناسی مهندسی ماسه سنگ، شیل و گلسنگ علاوه بر مشخص شدن خصوصیات سنگ‌شناسی، خصوصیات فیزیکی و مکانیکی نمونه ها تعیین گردید. پارامترهای به دست آمده از آزمایشات فیزیکی و مکانیکی بانک اطلاعاتی شامل: دانسیته، تخلخل، جذب آب، مدول برشی، ضریب الاستیسیته، مدول یانگ، نسبت پواسون، زاویه اصطکاک داخلی، چسبندگی، مدول بالک، نسبت مدولی، نسبت سرعت فشاری به برشی تعیین شده است. براساس بانک اطلاعاتی به تحلیل داده ها و رسم همبستگی و ارتباط بین هر پارامتر با دیگر پارامترها با استفاده از روش های آماری پرداخته شده است. در جداول ۲ و ۳ میانگین نتایج آزمایشات مختلف بر روی هر واحد نشان داده شده است. براساس رده‌بندی ارائه شده توسط آنون (۱۹۷۹) دانسیته در رده متوسط و تخلخل نمونه‌ها در رده پایین تا متوسط قرار دارد.

جدول ۲. نتایج داده های حاصل از آزمایش های مقاومتی و خصوصیات فیزیکی نمونه ها

Table 2. Results of data from strength tests and physical properties of samples

Rock code	A	B	C
Rock type	ماسه سنگ	شیل	گلسنگ
CaCO3 (%)	۱۸/۹	۹/۸	۵۶/۴
p(%)	۶/۹۱	۱۱/۷۸	۴/۴۴
W (%)	۳/۲۱	۳/۴۶	۲/۳۵
γ_d (g/cm^3)	۲/۲۰	۲/۱۳	۲/۵۵
G (GPa)	۱۷/۱۵	۱۴/۸	۱۰/۸
εt	۱۵/۳۹	۳/۲۵	۳/۰۳
εr	۰/۲۱	۰/۰۸	۰/۱۱
E (Gpa)	۴۵/۰۲	۴۰/۲۱	۲۵/۴۴
Vp/Vs	۱/۸۸	۱/۹۷	۱/۷۹
V	۰/۳۰	۰/۳۲	۰/۲۷
K	۳۱/۳۹	۲۸/۴۴	۱۹/۰۲
Φ	۳۱/۰۰۷	۲۷/۱۹	۲۸/۲۶
C(Kg/cm2)	۰/۰۹	۰/۰۵	۰/۰۷

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-01]

[DOI: 10.22034/JEG.2022.16.2.1016553]

جدول۳. متوسط نتایج آزمایشات مقاومتی
Table 3. Average results of strength tests

Rock code	A	B	C
Rock type	ماسه سنگ	شیل	گلسنگ
UCS (Mpa)	۷۱/۴۶	۳۸/۰۴	۲۶/۷۱
BTS (Mpa)	۱۳/۵۷	۸/۸۶	۶/۲۳
Vp (m/s)	۴۱۹۶	۳۹۸۴	۳۵۲۶
Vs(m/s)	۲۲۳۹	۱۴۰۳	۱۹۶۷
I_d (%)	۹۸/۷۳	۹۰/۶۶	-
$Is_{(50)}$ (MPa)	۶/۷۹	۵/۶۲	۵/۲۷

علامت‌های جدول ۲ و ۳:

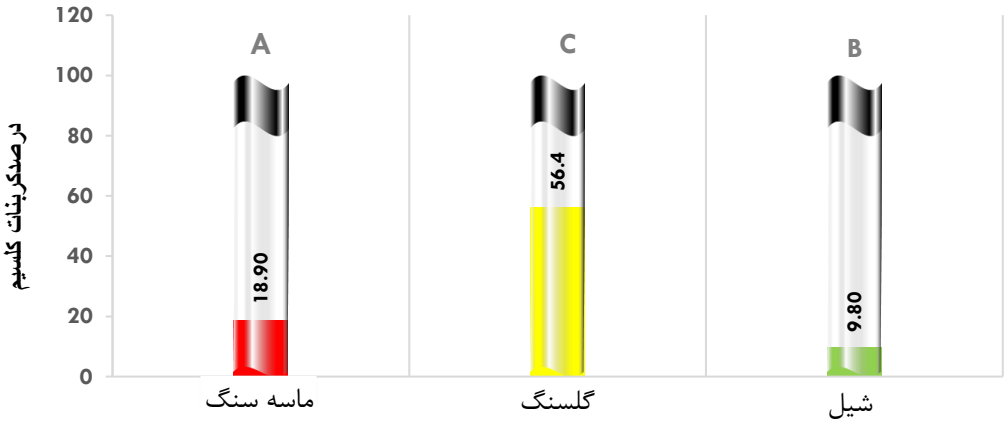
(UCS) مقاومت فشاری تک محوری (BTS)مقاومت کششی برزیلین (Vp) سرعت امواج فشاری (Vs) سرعت موج برشی (Is_{50}) مقاومت بار نقطه‌ای ($CaCO_3$)کربنات کلسیم (p)تخلخل (W) جذب آب (γ) چگالی (G) مدول برشی (εt) ضریب الاستیسیته (εr) نسبت مدولی (Vp/Vs) نسبت سرعت فشاری به برشی (E) مدول یانگ (V) نسبت پواسون (K) مدول بالک.

اثر کربنات کلسیم در خصوصیات مهندسی واحدهای سنگی:

درصد کربنات کلسیم در سنگ‌های مورد مطالعه از ۹/۸ تا ۵۶/۴ درصد متغیر و میانگین آن‌ها ۲۸/۵ درصد می‌باشد و با توجه به طبقه‌بندی مخلوط‌های رسی و کربنات کلسیم (صادقی،۱۴۰۲)، گلسنگ‌ها جزو سنگ‌های مارنی قرار می‌گیرند. طبق شکل ۸ و جدول ۴ با افزایش کربنات کلسیم در نمونه‌های ماسه‌سنگ که دارای سیمان سیلیس هم‌محور و شیل و گلسنگ دارای سیمان کربناته میزان تخلخل کاهش می‌یابد. همچنین درصد کربنات کلسیم سنگ‌های مورد مطالعه رابطه خاصی با مقاومت فشاری تک‌محوره، درصد تخلخل، مقاومت کششی و مدول یانگ دارد که نشانگر مقادیر بالا سیمان شدگی کربنات کلسیم در سنگ‌های نامبرده می‌باشد و درصد کربنات کلسیم در خصوصیات مکانیکی سنگ‌ها مورد مطالعه نقش مهمی ایفا می‌کند. میزان مقاومت فشاری تک‌محوری با افزایش درصد کربنات کلسیم روند افزایشی پیدا کرده که این امر به کاهش درصد جذب آب در سنگ‌های دارای کربنات کلسیم بیشتر نسبت داد. بعلاوه میزان چگالی با افزایش درصد کربنات کلسیم روندی رو به افزایش نشان می‌دهد که این امر را می‌توان به کاهش تخلخل در نمونه‌های دارای کربنات کلسیم نسبت داد.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-01]

[DOI: 10.22034/JEG.2022.16.2.1016553]



شکل ۸. نتایج حاصل از آزمایشات کلسیمتری

Fig. **8.** Results from calcimetry tests

جدول ۴. همبستگی پارامترهای ژئومکانیکی و کربنات کلسیم نسبت به یکدیگر

Table 4. Correlation of geomechanical parameters and calcium carbonate relative to each other

رابطه	همبستگی(R^2)	RMSE
P (%) = -0.1353 $CaCO_3$+11.47	0.76	2.65
W (%) = -0.0217 $CaCO_3$+ 3.622	0.84	1.03
Is_{50} = 0.0013 $CaCO_3$ + 5.88	0.001	-
K = 0.1492 $CaCO_3$ + 21.96	0.324	5.62
G = 0.1492 $CaCO_3$ + 21.96	0.324	5.62

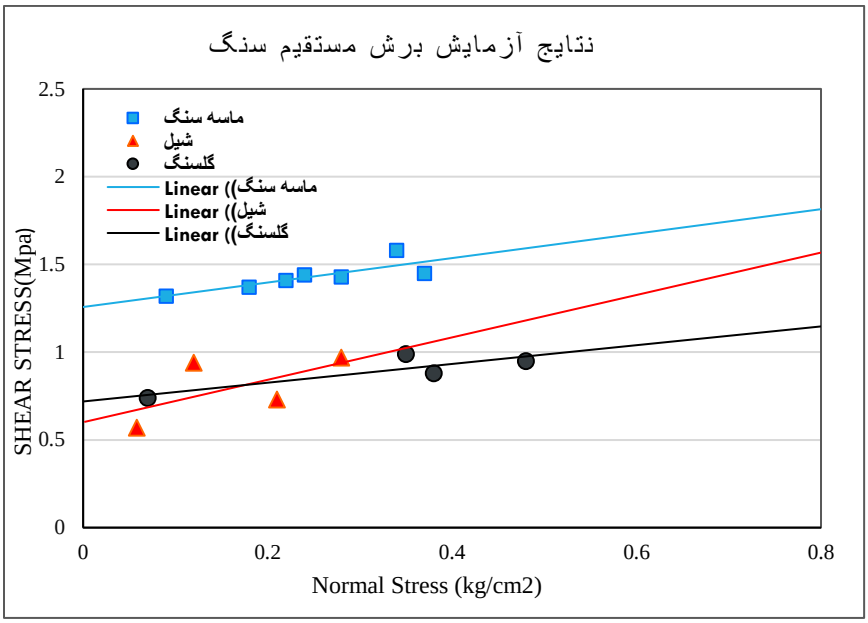
ارزیابی نتاج خصوصیات مقاومتی

با توجه به نتایج به‌دست‌آمده از تست برش مستقیم میزان زاویه اصطکاک داخلی ماسه‌سنگ بیشترین میزان نسبت به گلسنگ و شیل است و متوسط میزان چسبندگی و زاویه اصطکاک داخلی با استفاده از این آزمایش برای نمونه گلسنگ ۰/۷ مگاپاسگال و ۲۸ درجه، برای ماسه‌سنگ ۱/۳ مگاپاسگال و ۲۷ درجه و شیل ۰/۵ مگاپاسگال و ۳۱ درجه بدست آمده است.

زاویه اصطکاک داخلی یکی از عوامل مهم و مرتبط با شاخص‌های شکنندگی می‌باشد که بر این اساس می‌توان بیان نمود که هرچه سنگی زاویه صفحه شکست و محور نمونه بزرگ‌تر باشد سنگ قابلیت شکنندگی بالاتری دارد در نتیجه با توجه به نتایج و نمودار به‌دست‌آمده بیشترین میزان زاویه داخلی مرتبط با شیل است که نشان دهنده شکنندگی بالای شیل نسبت به گلسنگ و ماسه سنگ می‌باشد. همچنین براساس چسبندگی بیشترین میزان در ماسه‌سنگ‌ها قابل مشاهده است که نشان مقاومت بالای این نمونه نسبت به شیل و گلسنگ و تفاوت در زاویه‌های اصطکاک و چسبندگی نمونه‌ها اثبات تفاوت در مقاومت آن‌ها است (شکل ۹). با توجه به بررسی رابطه بین خصوصیات مکانیکی (شکل ۱۰) روابط همبستگی به‌دست‌آمده برای پیش‌بینی تراکمی تک‌محوره قابل قبول است با توجه به میزان مقاومت فشاری تک‌محوری سنگ‌های تونل (جدول۵) این سنگ‌ها طبق تقسیم‌بندی انجمن بین‌المللی مکانیک سنگ جزو سنگ‌های با مقاومت بالا تا متوسط و طبق تقسیم‌بندی انجمن بین‌المللی زمین‌شناسی مهندسی جزو سنگ‌های سخت تا نسبتاً سخت و طبق تقسیم‌بندی انجمن زمین‌شناسی جزو

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-01]
[DOI: 10.22034/JEG.2022.16.2.1016553]

سنگ‌های سخت تا نسبتاً سخت هستند. طبق تقسیم‌بندی Bell (1994) این سنگ‌ها از لحاظ کیفی برای استفاده در طرح‌های مهندسی جزو سنگ‌ها با استقامت متوسط قرار دارد و طبق تقسیم‌بندی Yongxin (1986) سنگ‌های شیل مورد مطالعه جزو سنگ‌های خیلی سست تا نیمه سخت هستند. تمامی سنگ‌ها مورد مطالعه دارای مدول الاستیسیته کم کمتر از ۴۵ مگاپاسگال می‌باشد روابط میان مقاومت تک‌محوره نمونه‌ها سایر پارامترها در شکل ۱۰ و جدول ۶ قابل مشاهده است.



شکل ۹. نتایج بدست آمده از آزمایش برش مستقیم و روابط آنها

Fig. 9. Results obtained from direct shear testing and their relationships

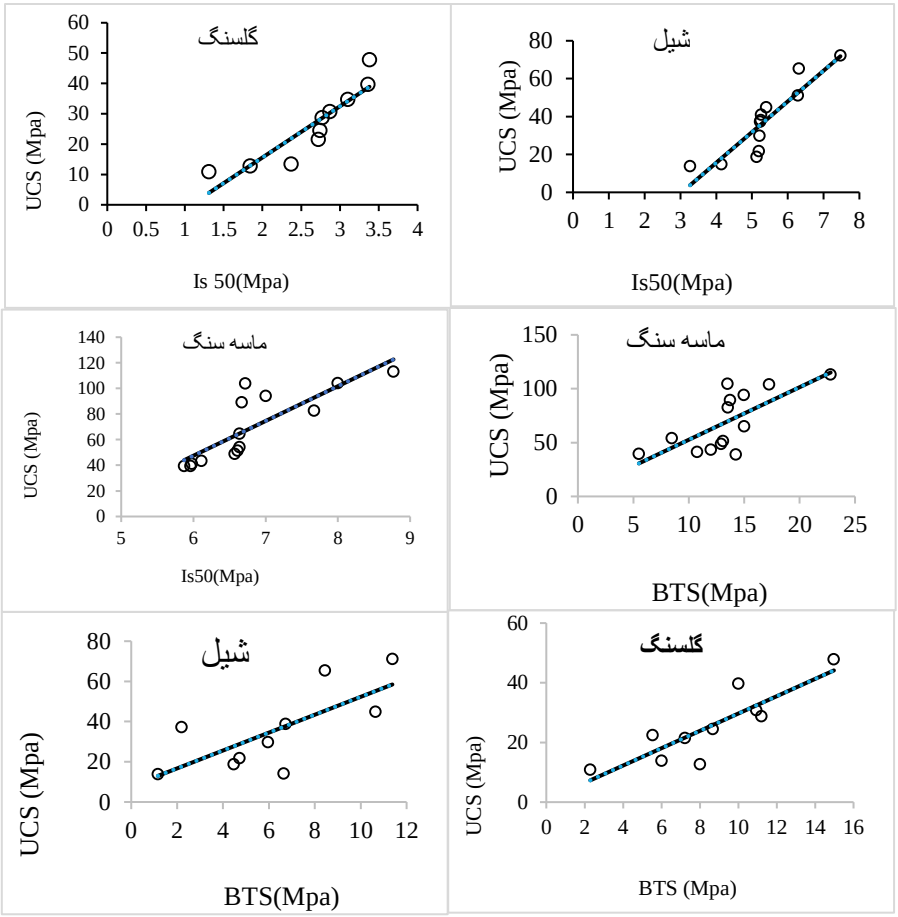
جدول۵. رده بندی سنگها برمبنای مقاومت تک محوری (Bell, 1992)

Table 5. Classification of rocks by UCS (Bell, 1992)

انجمن بین المللی مکانیک سنگ مقاومت (Mpa)	توصیف	انجمن بین المللی زمین شناسی مهندسی مقاومت (Mpa)	توصیف	انجمن زمین شناسی مقاومت (Mpa)	توصیف
کمتر از۶	سنگ با مقاومت خیلی کم	کمتر از۱۵	ضعیف	کمتر از ۱/۲۵	خیلی ضعیف
۲۰-۶	سنگ با مقاومت کم	۵۰-۱۵	نسبتا سخت	۵ -۱/۲۵	ضعیف
۶۰-۲۰	سنگ با مقاومت متوسط	۱۲۰-۵۰	سخت	۵ -۱۲/۵	نسبتا ضعیف
۲۰۰-۶۰	سنگ با مقاومت بالا	۲۳۰-۱۲۰	خیلی سخت	۱۲/۵ -۵۰	نسبتا سخت
بیش از ۲۰۰	سنگ با مقاومت خیلی بالا	بیش از ۲۳۰	بسیار سخت	۱۰۰-۵۰	سخت

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-01]

[DOI: 10.22034/JEG.2022.16.2.1016553]



شکل ۱۰. رابطه بین پارامترهای مختلف و تعیین روابط تجربی

Fig. 10. Relationship between different parameters and determination of empirical relationships

جدول ۶. رابطه تجربی به دست آمده بین خصوصیات مهندسی سنگ‌های مورد مطالعه

Table 6. Experimental relationship between the engineering properties of the rocks studied

شماره	نوع سنگ	روابط پیشنهادی	ضریب تعیین(R^2)	RMSE
۱	ماسه‌سنگ	UCS(MPa) = 4.8802 BTS (MPa)+ 3.7849	0.49	4.23
۲	شیل	UCS(MPa) = 4.44 BTS (MPa) +7.81	0.52	4.00
۳	گلسنگ	UCS(MPa) = 2.90 BTS (MPa) + 0.65	0.74	2.85

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-01]
[DOI: 10.22034/JEG.2022.16.2.1016553]

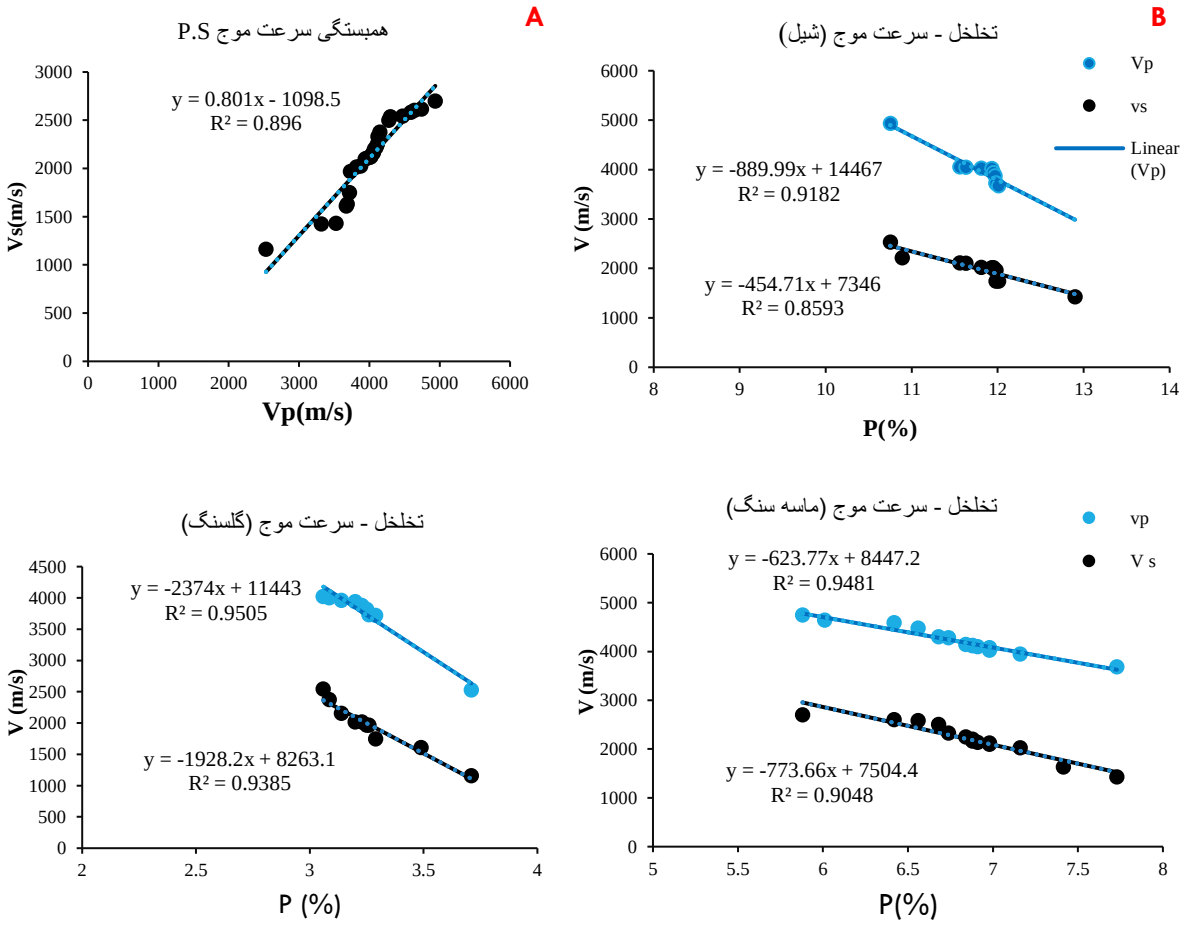
۴	ماسه‌سنگ	UCS(MPa) = 27.127 Is50 (MPa) – 115.31	0.68	3.20
۵	گلسنگ	UCS(MPa) = 16.903 Is50 (MPa) – 18.238	0.81	1.52
۶	شیل	UCS(MPa) = 16.211 Is50 (MPa) - 49.263	0.80	1.50

ارزیابی نتایج سرعت امواج

با توجه به شکل ۱۱ در نمونه‌ها با افزایش سرعت امواج تراکمی، سرعت امواج برشی نیز به‌صورت خطی افزایش پیدا می‌کند و نسبت Vp /Vs (جدول۳) در ماسه سنگ و شیل و گلسنگ به ترتیب برابر است با ۱/۸ و۱/۹و ۱/۷ می‌باشد. در مجموع هرچه تراکم سنگ بیشتر بوده و سنگ‌دانه ریزتر، سرعت امواج در آن بیشتر می‌باشد. سرعت انتشار با افزایش تخلخل کاهش می‌یابد و با افزایش تنش سرعت نیز افزایش می‌یابد. با توجه به بررسی‌های آماری میانگین سرعت امواج S و P در ماسه‌سنگ بیشترین میزان نسبت به نمونه‌های دیگر دارد. با توجه به بررسی های تیلور رابطه معینی بین سه نوع سنگ رسوبی (کربناته و ماسه‌سنگ) برای نسبت سرعت امواج تراکمی و برشی به دست آورد که این نسبت Vp/Vs برای سنگ آهک ۱/۹ و دولومیت ۱/۸ و ماسه‌سنگ ۱/۶۸ تا ۱/۷۵ می‌باشد (Taylor,1988) در نتیجه برای نمونه‌هایی که بیشتر از حد معمول به‌دست آمده مانند نمونه ماسه‌سنگ مورد مطالعه نشان از عمده‌ترین عامل حضور مقداری از کانی‌های رسی در نمونه‌ها می‌باشد و همین امر باعث شده که این نسبت حتی در شیل ها بیشتر از ماسه‌سنگ و گلسنگ باشد. هر چقدر درصد کانی‌های رسی بالاتر، نسبت بین سرعت موج تراکمی و برشی بیشتر می‌شود. حضور کانی‌های رسی در سنگ ، تاثیری زیادی بر روی مدول تغییر شکل می‌گذارد و باعث کاهش آن‌ها می‌شود. با افزایش میزان رس در نمونه‌های مورد مطالعه سرعت انتشار امواج الاستیک و مدول‌های الاستیک کاهش پیدا کرده است. با افزایش میزان رس میزان مقاومت کاهش یافته، باعث کاهش سرعت انتشار امواج الاستیک در آن می‌شود. سرعت‌های الاستیک در سنگ‌های ضعیف مانند شیل روند بسیار آرام‌تری با افزایش تخلخل نسبت به ماسه‌سنگ‌ها نشان می‌دهد به علاوه وجود درزه‌ها و شکستگی‌ها ریز و تورق بالای شیل‌ها باعث تغییر زیادی در تخلخل سنگ نمی‌شود اما تأثیر زیادی در کاهش سرعت امواج دارد.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-01]

[DOI: 10.22034/JEG.2022.16.2.1016553]



شکل۱۱. روابط میان سرعت امواج با یکدیگر و تخلخل

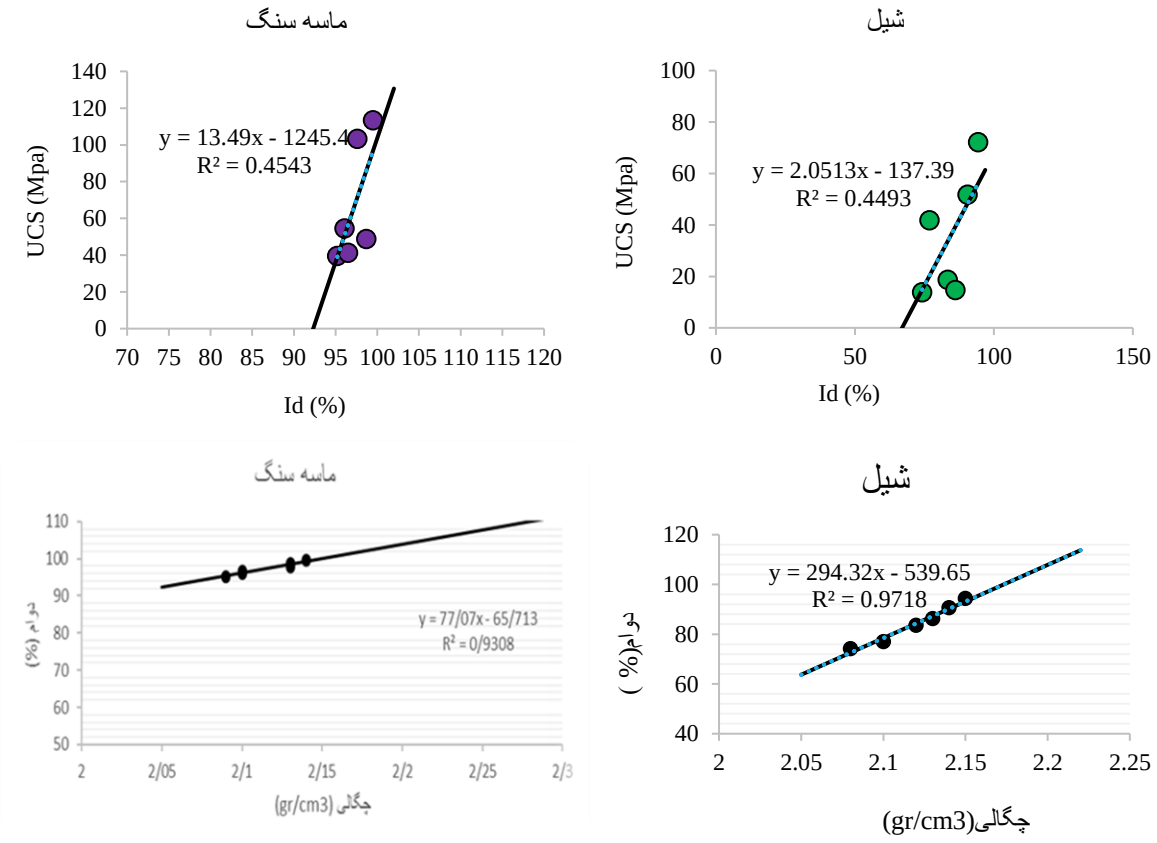
Fig. 11. Relations between wave velocity and porosity

ارزیابی نتایج دوام پذیری

دوام سنگ به عوامل متعددی بستگی دارد که مهم‌ترین آنها با توجه به بررسی‌های گمبل با دانسیته نسبت مستقیم و رابطه خطی دارد و با درصد آب موجود در آن رابطه معکوس دارد (شکل ۱۲). دوام نمونه شیل و ماسه سنگ مورد مطالعه تابع میزان کربنات کلسیم بوده و با افزایش درصد کربنات کلسیم شاخص دوام آنها کاهش می‌یابد (شکل ۱۲). با توجه به نمودار های بدست آمده (شکل ۱۲) نسبت سرعت موج P با دوام پذیری رابطه ای مشخص و مستقیم دارد و با افزایش دوام پذیری امواج فشاری نیز افزایش می‌یابد. این نسبت در امواج S که فقط از بدنه کانی ها عبور می‌کند دارای رابطه مستقیم اما به دلیل تاثیر عوامل دیگر رابطه ای قابل استناد ایجاد نشده است. دوام پذیری سنگهای مورد مطالعه دارای رابطه مستقیم و خطی با مقاومت فشاری تک محوری آنها دارد و با افزایش ضریب دوام مقاومت افزایش یافته اما به دلیل کمی این دو فاکتور بدست آوردن رابطه نمونه ها امکان پذیر نمی‌باشد (شکل۱۲) با توجه به طبقه بندی گمبل و فرانکلین سنگهای مورد مطالعه

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-01]
[DOI: 10.22034/JEG.2022.16.2.1016553]

از نوع سنگهای با دوام خیلی پایین تا متوسط محسوب می‌شوند. جدول ۷ معادلات تجربی حاصل از ازمایش دوام آورده شده است.



شکل۱۲. همبستگی بین آزمایش دوام با پارامترهای مختلف

Fig. 12. Correlation between durability testing with different parameters

جدول ۷. رابطه تجربی به دست آمده بین خصوصیات مهندسی سنگ‌های مورد مطالعه

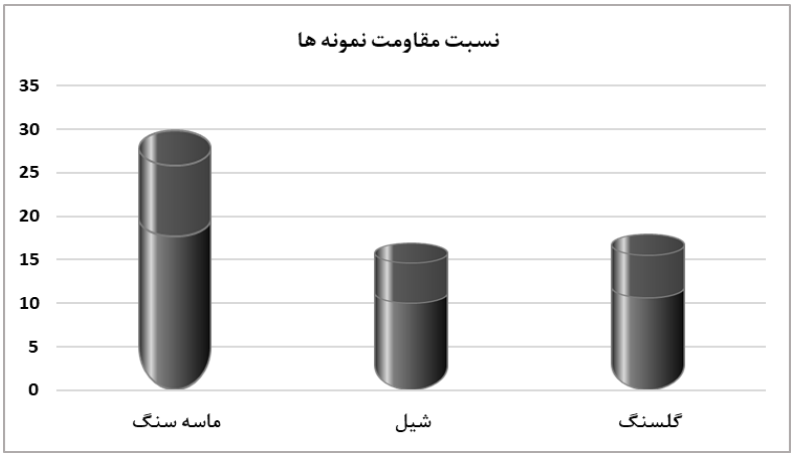
Table 7. Experimental relationship between the engineering properties of the rocks studied

شماره	نوع سنگ	روابط پیشنهادی	ضریب تعیین (R^2)	RMSE
۱	شیل	ID (%) = 294.32 γ – 539.6	0.97	0.04
۲	ماسه سنگ	ID (%) = 77.07 γ – 65.71	0.93	0.07
۳	شیل	UCS(MPa) = 2.05 γ_d -137.39	0.44	5.45

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-01]

[DOI: 10.22034/JEG.2022.16.2.1016553]

در انتهای بحث با استفاده از نتایج به‌دست‌آمده از آزمایش‌های مکانیکی و دینامیکی از جمله بارگذاری بار نقطه‌ای، آزمایش مقاومت تراکمی تک‌محوری و آزمایش مقاومت کششی برزیلین، سرعت موج و دوام پذیری، تخمین اولیه‌ای از ویژگی مقاومتی انجام شده است که با توجه به میزان مقاومت بین عدد یک تا ۳ به آنها تعلق می‌گیرد که در مجموع با توجه شکل۱۳میزان مقاومت ماسه سنگ دانه ریز درون تونل بیشترین مجموع را به خود نسبت داده است.



شکل۱۳. نمودار تعیین میزان مقاومت نمونه ها نسبت به یکدیگر

Fig. 13. Graph of determining the strength of samples to each other

مقایسه نتایج بدست آمده با مطالعات گذشته

در سال‌های اخیر استفاده از رگرسیون در مطالعات زمین‌شناسی مهندسی برای برآورد پارامترهای مختلف به صورت گسترده مورد استفاده قرار گرفته است. در جدول ۸ نتایج برخی مطالعات گذشته توسط محققین مختلف با نتایج بدست آمده در این پژوهش مقایسه و ارائه شده است.

جدول۸. روابط تجربی ارائه‌شده توسط محققین مختلف

Table 8. Experimental relationships provided by various researchers

ردیف	محققین	روابط تجربی	(R^2)	نوع سنگ
۱	ISRM (1981)	$Log\ UCS = 0.00014\gamma_a H_s + 3.16$	-	-
۲	کارگیل و شاکور (۱۹۹۰)	$Log\ UCS = 0.043\gamma_a H_s + 1.2$	۰/۸۶	ماسه سنگ
۳	قهرمان (۲۰۰۱)	$UCS = 6.97 \times e^{(0.014\times\gamma_a H_s)}$	۰/۷۸	مارن، ماسه سنگ، کربنات
۴	مورالس و همکاران (۲۰۰۴)	$UCS = e^{(0.053H_s + 1.332)}$	۰/۸۸	آهک، ماسه سنگ، مارن، سیلتستون
۵	شلبی و همکاران (۲۰۰۷)	$UCS = 3.201\ R - 46.59$	۰/۵۸	دولومیت و آهک
۶	کیلیک و تیمن (۲۰۰۸)	$UCS = 0.0137\ R^{2.2721}$	۰/۹۷	۱۹ نوع سنگ مختلف

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-01]

[DOI: 10.22034/JEG.2022.16.2.1016553]

۷	جمشیدی و همکاران(۲۰۱۶)	$UCS = 78.59\ln(H_R)-239.2$	۰/۸۱	تراورتن
۸	حبیب و همکاران (۲۰۱۷)	$UCS = 2.855\ e^{0.0632\ R}$	۰/۷۵	آهک، ماسه سنگ، دولومیت، توف کربناته
۹	در این مطالعه	$UCS(MPa) = 2.05\ \gamma_d - 137.39$	۰/٤٤	شیل
۱۰	در این مطالعه	UCS(MPa) = 16.211 Is50 (MPa) - 49.263	۰/۸۰	شیل
۱۱	در این مطالعه	UCS(MPa) = 16.903 Is50 (MPa) – 18.238	۰/۸۱	گلسنگ
۱۲	در این مطالعه	UCS(MPa) = 27.127 Is50 (MPa) – 115.31	۰/٦۸	ماسه سنگ
۱۳	در این مطالعه	UCS(MPa) = 2.90 BTS (MPa) + 0.65	۰/۷٤	گلسنگ
۱۴	در این مطالعه	UCS(MPa) = 4.8802 BTS (MPa)+ 3.7849	۰/٤۹	ماسه سنگ
۱۵	در این مطالعه	UCS(MPa) = 4.44 BTS (MPa) +7.81	۰/۵۲	شیل
Hs : سختی اشمیت، γ_a (gr/cm^3): دانسیته خشک، e: عدد نپرین، R: عدد سختی بازگشتی اشمیت،SHV: سختی اشمیت				

منابع

صفری کنگ، الف، ۱۳۹۴، زمین شناسی مهندسی سازند شوریجه، شرق سازند کپه داغ، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه فردوسی مشهد.

صادقی، م.، ۱۴۰۲، ارزیابی مدل رفتاری توده سنگهای در برگیرنده تونل اسلوپ ۳غربی معدن مکانیزه شرکت زغال‌سنگ پروده طبس، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه فردوسی مشهد.

منصوری علی آباد، ح، غلام نژاد، ج، نجفی، م، ۱۳۹۵، مدلسازی عددی سه بعدی پدیده بالازدگی کف تونل باربری در روش جبهه کار بلند مکانیزه معدن زغال سنگ طبس، مهندسی تونل و فضاهای زیرزمینی،۵(۲).

Aggson, J. R., & Curran, J. 1978. Coal mine ground control problems associated with a high horizontal stress field. Society of Mining Engineers of AIME.

Ahmadi khounsaraki, V., Uromeihy, A., Nikudel, M. R., & Amiri, M. 2024. Angouran mine access tunnel stability assessment using the experimental classification method and fuzzy hierarchical analysis (FAHP). New Findings in Applied Geology. doi: 10.22084/nfag.2023.27215.1542.

Anon, 1979 Classification of rocks and soils for engineering geological mapping: Bulletin of the International Association of Engineering Geology, 19, pp. 364 – 371.

Azarafza, M., Ghazifard, A., Akgün, H., Asghari-Kaljahi, E, 2019. Geotechnical characteristics and empirical geo-engineering relations of the South Pars Zone marls, Iran, Geomechanics and Engineering, An International Journal, Techno press, 19(5), 393-405.

Bell, F. G. 1992. An investigation of a site in Coal Measures for brickmaking materials: an illustration of procedures. Engineering Geology, 32(1-2), 39-52.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-01]

[DOI: 10.22034/JEG.2022.16.2.1016553]

Bell, F. G. 1992. Salt mining and associated subsidence in mid-Cheshire, England, and its influence on planning. Bulletin of the Association of Engineering Geologists, 29(4), 371-386.

Bell, F. G. (2013). Engineering properties of soils and rocks. Elsevier.

Cargill, J.S., Shakoor, A., 1990. Evaluation of empirical methods for measuring the uniaxial compressive strength. Int. J. Rock Mech. Min. Sci. 27, 495–503.

Cicek, S, 2020, Adaptation of Coal Mine Floor Rating -CMFR- to Eastern U.S. Coal Mines, Thesis submitted to the Benjamin M. Statler College of Engineering and Mineral Resources at West Virginia University in partial fulfillment of their querulents for the degree of Master of Science.

Folk, R. L. 1962. Spectral subdivision of limestone types. In W. E. Ham (ed.), Classification of Carbonate Rocks. Am. Assoc. Petr. Geologists, Memoir l, 62-84.

Ghobadi, M. H., Amiri, M., Aliani, F, 2020. The study of relationship weathering, mineralogical and texture of peridotite rocks with engineering geological properties (Case study: peridotite Harsin city, Kermanshah province). New Findings in Applied Geology, 14(27), 43-54.

Ghobadi, M. H., Amiri, M., Aliani, F. 2020. The study of engineering geological properties of peridotites in Harsin, Kermanshah province (A case study). Journal of Engineering Geology. 2020; 14 (1):105-132.

Ghobadi, M., Amiri, M., Rasouli Farah, M, 2021. The study of geotechnical properties of Qom formation sandstones and their using as borrow material (case study: Latgah village, northern Hamedan). New Findings in Applied Geology, 15(29), 55-70.

Hebib R., Belhai, D. Alloul, B. 2017. "Estimation of uniaxial compressive strength of North Algeria sedimentary rocks using density, porosity, and Schmidt hardness", Arab. J. Geosci. 10, p. 383.

ISRM, 1981 (b). "Suggested Methods. Rock characterization testing and monitoring", In: Brown ET, (Eds.) Oxford: Pergamon Press.

-ISRM, 1981. "Basic geotechnical description of rock masses, International Society of rock mechanics Commision on the classification of rock and masses". Int Rock Mech Min Sci Geotech, Vol. 18: 85-110.

ISRM, 2007. "The Complete ISRM, Suggested Methods for Rock characterization testing and monitoring, International Society of rock mechanics.

Jamshidi, A., Nikudel, M.R., Khamehchiyan, M., Sahamieh, R.Z., Abdi, Y., 2016. A correlation between P-wave velocity and Schmidt hardness with mechanical properties of travertine building stones. Arab. J. Geocsi. 9 (10), 568.

Kahraman S., 2001, "Evaluation of simple methods for assessing the uniaxial compressive strength of rock", Int. J. Rock Mech. Min. Sci. Vol. 38, pp 981-994.

Kılıc, A. and Teymen, A. 2008. Determination of mechanical properties of rocks using simple methods. Bull Eng. Geol. Environ., 67: 237–244.

Klemetti, T., Van Dyke, M. E., Compton, C. C., & Tulu, I. 2020. Insights into the relationships among the roof, rib, floor and pillars of underground coal mines. Mining, Metallurgy and Exploration.

Li, X., Wang, E., Li, Z., Liu, Z., Song, D., & Qiu, L. 2016a. Rock burst monitoring by integrated microseismic and electromagnetic radiation methods. Rock Mechanics and Rock Engineering, 49(11):4393-4406.

Li, Z.-l., Dou, L.-m., Cai, W., Wang, G.-f., Ding, Y.-l., & Kong, Y. 2016 b. Roadway stagger layout for effective control of gob-side rock bursts in the longwall mining of a thick coal seam. Rock Mechanics and Rock Engineering, 49(2):621-629.

Liu, S., Bai, J., Wang, X., Yan, S., & Zhao, J. 2021. Field and numerical study on deformation and failure characteristics of deep high-stress main roadway in Dongpang coal mine. Sustainability, 13(15), 8507.

Morales, T., Uribe-Etxebarria, G., Uriarte, J.A., de Valderrama, I.F., 2004. Probabilistic slope analysis state of play. Eng. Geol. 71, 343–362.

Nargan, T., Kucuk, K., Deliormanli, A., Saydam, S., & Koca, M. Y. 2012. Ground control for underground evaporite mine in Turkey. In Mining Methods (eds: T Onargan) pp 33-46.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-01]

[DOI: 10.22034/JEG.2022.16.2.1016553]

Rahimi Shahid, M., Amiri, M., lashkaripour, G., Moradi, S, 2022. The estimation of Hamedan limestone brittleness index using point load index and porosity test. Geopersia, 12(2), 331-352.

Ronmar, C. 2016. Correlation of rock strength between uniaxial compressive, Brazilian and point load tests: a laboratory study.

Salimi, A., Rostami, J., Moormann, C., & Hassanpour, J. 2022. Introducing tree-based-regression models for prediction of hard rock TBM performance with consideration of rock type. Rock Mechanics and Rock Engineering, 55(8), 4869-4891.

Shalabi, F.I., Cording, E.J., Al-Hattamleh, O.H., 2007. Estimation of rock engineering properties

Taylor, R. (1988). Coal measures mudrocks: composition, classification and weathering processes. Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology, 21(1):5-99.

Using hardness tests. Eng. Geol. 90, 138–147.

Wang, H., He, M., Zhao, J., Zhang, Y., & Yang, B. 2023. Cutting energy characteristics for brittleness evaluation of rock using digital drilling method. Engineering Geology, 319, 107099.

Xiao, W., Chen, W., & Deng, X. 2021. Coupling and coordination of coal mining intensity and social-ecological resilience in China. Ecological Indicators, 131, 108167.

Xin-le, Y. A. N. G., & Yong-li, Z. H. A. N. G. 2008. Experimental study of effect of temperature on coal gas permeability under gas-solid coupling. 地质力学学报, 14(4), 374-380.

Zhang, S., Nie, W., Guo, C., Peng, H., Ma, Q., Xu, C., ... & Liu, Q. 2021. Optimization of spray dust suppression device in return air tunnel of a coal mine based on CFD technology. Building and Environment, 203, 108059.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-01]

[DOI: 10.22034/JEG.2022.16.2.1016553]

Investigation of geomechanical properties of rock units of the eastern tunnel of Pervadeh Tabas coal mine and presenting experimental relationship

Mohadese Sadeghi[1], Naser Hafezi Moghaddas[2*], Mohammad Ghafoori[2], Mehrdad Amiri[3], Ali Bashari[4]

1.M.SC engineering geology, Department of Geology, Ferdowsi University of Mashhad, Iran
2. Professor, Department of Geology, Faculty of Science, Ferdowsi University of Mashhad, Iran
3. Ph.D., Department of Geology, Faculty of Science, Ferdowsi University of Mashhad, Iran
4. Ph.D., Head of Technical and Design Office of Tabas Coal Company

Received: 28 May 2022 Accepted: 20 Jul 2022

Abstract

The design of underground or terrestrial structures on the rock bed depends on the physical and mechanical properties. Considering the mining method in Tabas coal mine extraction method is long and destructive, the evaluation of the geomechanical properties of the rocks is more necessary. In this research, the characteristics of the rock units of the eastern tunnel No. 3 of Tabas coal Pervadeh mine were investigated. In this study, 3 samples of shale, sandstone and mudstone were examined. Considering the importance of the subject in this research, new experimental relations have been proposed, and their application shows desirable results. In order to obtain geomechanical characteristics and empirical relationships, physical tests such as porosity, water absorption percentage, unit volume weight, and mechanical properties such as uniaxial compressive strength, point load index, Brazilian tensile strength, direct cutting test, durability and brittleness index were carried out. To achieve the desired objective, the most appropriate relationships are presented using the regression method. Statistical analysis shows good correlation between different parameters in shale, sandstone and mudstone samples.

Keywords: physical and mechanical properties, shale, sandstone, mudstone, coal tunnel.

Introduction

Due to the diversity of rock types, the rock units of the western part of the Tabas coal mine tunnel have different physical and mechanical properties. Therefore, an understanding the properties of their strength and deformation properties helps to predict the engineering behavior of these rocks. Due to the wide distribution of these rocks, special attention has been paid to their petrological, physical, and mechanical properties. The construction of structures in or on these rock units and the selection of these rocks depend on an understanding of their geological engineering properties. In this paper, in addition to field and laboratory studies, the geotechnical characteristics of the rock units of the western portal of the Parvadeh Tabas mine tunnel have been investigated.

Materials and Methods

The objective of this study was the investigation of the geotechnical properties of the rock mass of the East Tunnel No. 3 of the Tabas Coal Mine. Firstly, the library method was used. To this end, a

*Corresponding author: nhafezi@um.ac.ir
DOI: http://doi.org/10.22034/JEG.2022.16.2.1016553

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-01]
[DOI: 10.22034/JEG.2022.16.2.1016553]

number of different sources were collected and studied. For this purpose, a number of different sources were collected and studied. In the next stage, field visits were carried out. The next stage was the field visits, which were carried out with the help of experts from the mine. During these visits, in addition to familiarizing themselves with the physical conditions of the project site, other local information was collected and used. Next, laboratory tests were conducted to determine the mechanical and physical properties of rock samples taken from the mines and boulders, examining in each test some of the factors affecting the test results. Finally, the relationships between the parameters were studied. Finally, the relationships between the parameters were studied. The investigated tunnel is located at a depth of 575 to 600 meters below the surface and its units include three layers of sandstone, conglomerate and shale. In the present study, 34 blocks of rock samples were selected for various rock mechanics tests to be performed on the samples. The rock mechanics tests included uniaxial controlled-rate compressive strength test based on ISRM (1981), Brazilian tensile strength test based on ISRM (1978), determination of physical properties based on ISRM (1981), durability index based on ISRM (1979) and determination of compressive and shear wave speeds based on ISRM (1981). All tests were carried out at the Laboratory of Stone Mechanics, Ferdowsi University, Mashhad.

Discussion and conclusions

Based on the results of laboratory experiments and analysis of rock units, it is clear that the rocks encountered in the western tunnel of the Parvadeh Coal Mine are part of the Nayband Formation. These rocks include shale, sandstone and conglomerate formations. According to the tests and classifications carried out, these rocks have a range of resistance from low to medium. Variations in cement type and grain size, both within each layer and at different depths, contribute to their different characteristics. The percentage of calcium carbonate in the rocks studied ranges from 8.9 to 4.56 per cent, with a variable average of 5.28 per cent. Considering the classification of clay and calcium carbonate mixtures, limestone rocks are classified as marl rocks. The relationship between the percentage of calcium carbonate in the samples and the uniaxial compressive strength, porosity percentage, tensile strength, and Young's modulus indicates good cementation of calcium carbonate, especially in sandstones, and the percentage of calcium carbonate plays an important role in the mechanical properties of rocks. All the rocks studied have a Young's modulus of less than 45 megapascals. The average Poisson's ratio of the rocks studied is 0.29, indicating their softness. It is worth noting that in these rocks the Poisson's and elastic moduli and the bulk and shear moduli are lower in sandstone rocks than in shale and sandstone rocks. As the density of the studied rocks increases, the velocities of compressional and shear waves increase linearly (the correlation coefficient is 0.95 in rocks, 0.9 in shale and 0.95 in sandstone and conglomerate), and there are very close relationships between compressional and shear wave velocities in the samples. The Vs/Vp ratio in the shales studied (1.97) is higher than in the sandstones and madstones (1.88 and 1.79), due to the higher proportion of clay minerals in the shales.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-01]

[DOI: 10.22034/JEG.2022.16.2.1016553]