

ارزیابی خصوصیات ژئومکانیکی سنگ‌های آرژیلیتی در منطقه مکران جنوبی (راه آهن چابهار - نیک‌شهر)

ولی‌اله احمدی خونسارکی^۱، علی ارومیه‌ای^{۲*}، سعید معدنی پور^۳ و مهرداد امیری^۴

۱- دانشجوی دکترا، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

۲- استاد گروه زمین‌شناسی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

۳- استادیار گروه زمین‌شناسی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

۴- دانشجوی دکترا، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

نویسنده مسئول: uromeia@modares.ac.ir*

نوع مقاله: پژوهشی

پذیرش: ۱۴۰۱/۳/۲۱

دریافت: ۱۴۰۱/۱/۱۵

چکیده

سنگ‌های آرژیلیتی از جمله سنگ‌های ضعیف هستند که به دلیل تورم‌پذیری، شکستگی زیاد و مقاومت کم در اجرای پروژه‌های مهندسی باعث مشکلاتی می‌شود. پهنه ساختاری مکران جنوبی در قسمت جنوب شرقی ایران حد فاصل بین دو گسل تراسی مکران و قصر-قند و شامل دو زیر پهنه مکران ساحلی و مکران بیرونی قرار دارد. عمده رسوبات از خرده‌های کوارتز در حد سیلت با زمینه کربناته دارای کانی‌های فرعی کلسیت و خرده‌های فسیل است که نشان‌دهنده محیط دریایی کم‌عمق و کم انرژی به سن نئوژن می‌باشد. توزیع دانه‌ها عمدتاً سیلینی و زاویه‌دار در یک زمینه عمدتاً کربناته با درصد کربنات کلسیم کمتر از ۱۵ درصد و در مکران ساحلی به دلیل تشکیل کلسیت اسپارایتی بین ۷۰ تا ۸۰ درصد است. در این پژوهش به منظور تعیین ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی سنگ‌های آرژیلیتی مکران جنوبی در امتداد محور راه‌آهن چابهار- نیک‌شهر، آزمایش‌های تعیین چگالی، تخلخل، آزمایش مقاومت بار نقطه‌ای و آزمایش فلورسانس پرتو ایکس (XRF) و نتایج پراش اشعه ایکس (XRD) انجام شده است. نتایج XRF نمونه‌ها نشان می‌دهد که عمده اکسیدهای تشکیل دهنده Fe_2O_3 ، Al_2O_3 ، SiO_2 و CaO می‌باشد و نتایج XRD نشان‌دهنده کانی‌شناسی عمدتاً سیلینی شامل: کوارتز، کلسیت، آلبیت، کلینوکلر، مسکویت و دولومیت می‌باشد. برداشت صحرایی در هر کدام از زیر پهنه‌ها به منظور طبقه‌بندی مهندسی سنگ و نمونه‌برداری جهت آزمون‌های آزمایشگاهی برای تعیین ویژگی‌های ژئومکانیکی مورد استفاده قرار گرفت. مطابق طبقه‌بندی مهندسی سنگ عمده رسوبات در طبقه‌بندی ضعیف و خیلی ضعیف به دلیل شرایط تکتونیکی و هوازگی زیاد قرار دارند. مطالعات سنگ‌شناسی و تعیین خصوصیات فیزیکی نشان می‌دهد رسوباتی که در مکران ساحلی قرار دارند به دلیل جوان بودن حوضه رسوب‌گذاری دارای تخلخل بیش‌تر و سیمان کمتر می‌باشند و براساس مقاومت بار نقطه‌ای ($Is_{50} < 2MPa$) مطابق طبقه‌بندی بیناوسکی در رده سنگ‌های ضعیف قرار می‌گیرند مقادیر مقاومت تراکمی تک‌محوره نشان می‌دهد که عمده سنگ‌ها دارای مقاومت کمتر از ۲۰ مگاپاسکال می‌باشند که دارای همبستگی بالایی ($R^2=0.94$) با مقدار تخلخل می‌باشد؛ و همچنین رابطه مقاومت فشاری تک‌محوری با دانسیته و کربنات کلسیم به ترتیب برابر ($R^2=0.81$) و ($R^2=0.89$) می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: مکران، آرژیلیت، سنگ‌های ضعیف، گسل قصر-قند، خصوصیات فیزیکی و خصوصیات مکانیکی

پیشگفتار

بین‌المللی ASTM، DIN، Ö-Norm یا روش‌های توصیه شده به وسیله ISRM، IAEG استفاده می‌گردد. در استانداردهای بین‌المللی سنگ‌های ضعیف، گروهی از سنگ‌ها هستند که مشابه خاک‌های سخت شده بوده و تفاوتشان با سنگ‌های سخت این است که در یک دوره زمانی کوتاه (چندین سال) زمانی که در معرض آب و تغییرات اقلیمی قرار می‌گیرید، تجزیه می‌شوند (نیک من و همکاران، ۲۰۰۶). این از دست دادن مقاومت در شرایط عادی قابل‌برگشت نیست، درحالی‌که در خاک‌های

سنگ‌های رسوبی را می‌توان به دو گروه سنگ‌های آواری ناشی از فرسایش فیزیکی و غیرآواری ناشی از واکنش‌های شیمیایی و عملکرد زیست‌شیمیایی تقسیم نمود (احرارودی، ۱۳۸۵). اگرچه سنگ‌های ضعیف (دامنه‌ای از خاک سخت تا سنگ نرم)، اغلب در پروژه‌های عمرانی سراسر جهان مورد اهمیت واقع می‌شود اما فقط به چند روش محدود جهت ارزیابی بسنده می‌شود. برای بررسی سنگ‌های ضعیف در کشورهای مختلف از استانداردهای

ویژگی‌های توده‌سنگ مثل مقاومت و مدول‌های ارتجاعی و برشی (دادخواه و همکاران، ۱۳۸۴) استفاده می‌شود. با این‌حال، استفاده از این دستگاه‌ها هنوز محدودیت‌های فراوانی دارد، به طوری که در استفاده از این سیستم‌ها در زون‌های گسلی و مناطق کاملاً برش خورده کارایی آن‌ها دچار ابهام می‌شود (حسینی تودشکی و همکاران، ۲۰۱۲). در سنگ‌های لایه‌ای که از جنس‌های مختلف با ویژگی‌های ژئومکانیکی متفاوت تشکیل می‌شوند، میانگین‌گیری از مقادیر ویژگی‌ها بر اطمینان بخشی از روش تحلیل اثر می‌گذارد (بشیر گنبدی و همکاران، ۱۳۸۸). سنگ‌های مارنی از جمله سنگ‌های سست و ضعیف در مهندسی به شمار می‌روند و رفتار دوگانه‌ای از خود نشان می‌دهند و این رفتار تابع میزان رس و آهک است. هرچه درصد آهک افزایش یابد، خواص مهندسی آن بهبود می‌یابد و اما هرچه درصد رس افزایش یابد، رفتار سنگ مارن به سمت رفتار خاک پیش می‌رود (رضایی، ۱۳۹۵). به همین دلیل مارن‌ها برخی از ویژگی‌های خاک را دارند و آزمایش‌های مکانیک خاک نیز روی آن انجام می‌شود. سنگ‌های مارنی به شدت متأثر از شرایط محیط خود هستند؛ بنابراین در ارزیابی آن‌ها باید این شرایط را لحاظ کرد. برای مثال وقتی در معرض رطوبت در هوای آزاد قرار می‌گیرند، شکفته شده و ساختار اولیه آن‌ها متلاشی می‌شود؛ در این وضعیت دیگر نمی‌توان بر اساس ویژگی‌های اولیه سنگ که قبل از شکستگی داشته، درباره خواص مهندسی آن قضاوت کرد. بررسی‌های انجام‌شده، نشان می‌دهد که پارامترهای ژئومکانیکی مارن‌ها بسیار متنوع و دامنه تغییرات آن نسبت به سنگ‌های دیگر بیشتر است. برای نمونه، عدد RMR در مارن‌ها کم‌تر از ۵۰٪ سنگ‌های آهکی است و مقدار Q تا ۱۶ برابر کم‌تر از یک سنگ آهک است (امیری و محمدی، ۱۳۹۲)؛ بنابراین، در تحلیل‌ها و طراحی‌ها استفاده از نتایج طبقه‌بندی مهندسی توده‌سنگ در سنگ‌های آرژیلیتی با نبود اطمینان (رامامورتی، ۲۰۰۸)، (پالمستروم و سینگ، ۲۰۰۱)، (اجل‌لوئیان و داوودی، ۱۳۸۲) مواجه می‌شود. در بسیاری از طراحی‌های تجربی، پارامترهای مختلف از طریق سیستم‌های طبقه‌بندی توده سنگ برآورد می‌شود؛ برای تعیین مدول تغییر شکل (Em) سنگ از RMR به فراوانی استفاده می‌شود. با این‌حال، اعتبارسنجی‌های صورت گرفته نشان می‌دهد که روابط تجربی جهانی برای سازندهای ایران قابلیت اعتماد کمی

چسبیده ممکن است به علت تغییر در آب باشد. سنگ‌های ضعیف (آرژیلیتی) از لحاظ خصوصیات مکانیکی رفتار حد واسط خاک‌های سفت و سنگ‌های سخت را نشان می‌دهد. این سه گروه (خاک‌های سخت، سنگ‌های ضعیف و سنگ‌های سخت) با فرآیندهای زمین‌شناسی مرتبط هستند، بنابراین مرزها بین آن‌ها متغیر است. سنگ‌های آرژیلیتی اغلب شامل مخلوطی از سیلت و کانی‌های رسی هستند که قسمت عمده ذرات در آن‌ها کمتر از ۰/۰۰۴ میلی‌متر قطر دارند. تهنسست‌های شیمیایی، مواد آلی و کلوئیدهای مختلف به نسبت متفاوت در سنگ‌های آرژیلیتی به‌عنوان مواد تشکیل‌دهنده فرعی یافت می‌شود (گرین‌اسمیت، ۱۹۷۹). در سنگ‌های آرژیلیتی انواع مختلف از کانی‌های رسی یافت می‌شوند که متعلق به گروه‌های ایلیت و کلریت، کائولینیت و دیکیت، گروه کاندیت و مونت‌موریلونیت و گروه اسمکتیت می‌باشند (پتی‌جان و همکاران، ۱۹۷۳). امروزه طبقه‌بندی توده سنگ از گام‌های اساسی در طراحی تجربی سازه‌های مهندسی وابسته به محیط سنگ است. روش‌های متعددی برای طبقه‌بندی زمین‌شناسی مهندسی توده‌سنگ وجود دارد که در هر پروژه‌ای نیاز به اعمال ضریب و اصلاح است (قیاسی و همکاران، ۲۰۱۱). از جمله این روش‌ها می‌توان به شاخص کیفیت سنگ (RQD) (دیر، ۱۹۸۸)، امتیازدهی ساختار سنگ (RSR) (اسکینر، ۱۹۸۸)، امتیازدهی ژئومکانیکی سنگ (RMR) (بنیواسکی، ۱۹۸۹) و طبقه‌بندی کیفیت توده‌سنگ (Q) (بارتون، ۱۹۸۷)، اشاره کرد. سیستم‌های طبقه‌بندی زمین‌شناسان مهندسی را قادر می‌سازد تا ویژگی‌ها و رفتار محیط زمین را به صورت عددی به طراحان معرفی کنند. نتایج آزمایش‌های روی سنگ بکر به‌تنهایی نمی‌تواند ویژگی توده‌سنگ را به‌خوبی بیان کند، بنابراین یکی از روش طبقه‌بندی مهندسی توده سنگ است. در طراحی و نگهداری تونل (بنیواسکی، ۱۹۸۹)، پایدارسازی و پهنه‌بندی دامنه‌های سنگی مشرف بر جاده‌ها (روبرت، ۲۰۰۲)، مخازن و پی سدها (رومانا، ۲۰۰۴)، ساختمان‌ها و دامنه معادن روباز، در تحلیل پایداری ترانشه‌ها و گودبرداری‌ها، معیارهای شکست سنگ (ایدلبرو، ۲۰۰۴) استفاده از سیستم‌های طبقه‌بندی توده سنگ معمول است. از مقادیر سیستم‌های طبقه‌بندی با ارائه روابط تجربی به‌طور گسترده برای محاسبه میزان نفوذ ماشین حفاری (احمدی و همکاران، ۱۳۸۹) و تعیین

دوام و ارتفاعی و تعیین شده‌اند (آدرازا و همکاران، ۲۰۱۹). عمده مطالعات انجام گرفته در پهنه ساختاری مکران به بررسی‌های ساختاری، سنگ‌شناسی، تعیین سن، رسوب‌شناسی و ژئوشیمیایی پرداخته شده است. خصوصیات زمین‌شناسی مهندسی سنگ‌ها به ترکیب کانی‌شناسی، بافت و میزان هوازگی آن وابسته است (قیادی و همکاران، ۲۰۲۰). طبقه‌بندی و بررسی خصوصیات زمین‌شناسی مهندسی واحدهای رسوب‌گذاری با تمرکز بیش‌تر بر روی واحدهای چابهار انجام گرفته است. تنوع مطالعات انجام شده در این منطقه نشان از پیچیده بودن این ساختار فعال است که عوامل متفاوتی بر روی خصوصیات رفتاری این واحدهای رسوب‌گذار ایفا می‌کند. بررسی و طبقه‌بندی این واحدهای رسوب‌گذاری نیاز به اطلاعات جامع در ابعاد گوناگون دارد. به این منظور راه‌آهن چابهار- نیک‌شهر به‌عنوان برش عمودی بر این ساختار انتخاب گردید که بتوان از نتایج اطلاعاتی آن بهره‌برداری کرد. رخنمون‌های سنگی مکران جنوبی با ترکیبات رس، سیلتستون، ماسه‌سنگ و آهک تحت عنوان سنگ‌های آرژیلیتی نام‌گذاری می‌شوند که در گروه سنگ‌های ضعیف قرار دارند. در گروه سنگ‌های ضعیف انواع مختلف سنگ‌ها از ماسه‌سنگ‌های ضعیف تا گلسنگ‌ها و سنگ مارن وجود دارند که همه آن‌ها نشان‌دهنده رفتارهای متفاوت هستند. امروزه طبقه‌بندی توده‌سنگ از گام‌های اساسی در طراحی تجربی سازه‌های مهندسی وابسته به محیط سنگ است. به‌منظور بررسی مکران جنوبی و شرایط ساختاری این زون برش منطقه مورد مطالعه در امتداد مسیر راه‌آهن چابهار- نیک‌شهر با راستای عمود بر زون مکران انتخاب شده است. ناشناخته بودن رخنمون‌های سنگی مکران جنوبی و گسترش بسیار زیاد این نوع رسوبات سنگی مسئله‌دار در اکثر مناطق کشور به‌ویژه در منطقه چابهار و ارائه یک الگوی طبقه‌بندی مهندسی برای منطقه بر مبنای خصوصیات پهنه‌های ساختاری، شرایط محیط رسوبی و شاخص‌های زمین‌شناسی مهندسی می‌تواند ابزار بسیار مناسبی جهت ارزیابی‌های صحرایی و محاسبات مهندسی رخنمون‌های سنگی منطقه باشد. بدین ترتیب بر مبنای الگوی ارائه شده می‌توان سنگ‌های منطقه را از نظر شاخص‌های مهندسی تفکیک و مناطق با استعداد زیاد برای مخاطرات زمین‌شناسی احتمالی را در محل اجرای طرح‌های عمرانی مانند سازه‌های حساس مسیر خط

دارد (بشیر گنبدی و همکاران، ۱۳۸۸)، از این‌رو، باید پذیرفت که هر رابطه تجربی مختص ناحیه و نوع سنگ بررسی شده است. از آنجا که شاخص RQD تابع تعداد و فاصله بین شکستگی‌ها است، در سنگ‌های نرم و سست همانند مارن‌ها به‌تنهایی نمی‌تواند معرف ویژگی‌های ژئومکانیکی سنگ باشد (ورمن و همکاران، ۱۹۷۷)، (رضایی، ۱۳۷۹). ویژگی‌های سطوح ناپیوستگی نظیر زبری، بازشدگی، پرشدگی، فاصله‌داری، مقاومت سطح درزه‌ها در سیستم‌های طبقه‌بندی به کار می‌رود. این ویژگی‌ها در سنگ‌های آرژیلیتی و به‌خصوص مارن‌ها، اثر متفاوتی نسبت به سنگ‌های شکننده و ترد دارد، برای نمونه مقاومت برشی سطح درزه‌های سنگ‌های سخت با افزودن لایه نازکی از ماده پرکننده رسی افت زیادی خواهد کرد (زارع و ترابی، ۱۳۸۸) و یا زبری سطح درزه‌ها در سنگ‌های سخت اثر مهمی بر کیفیت سنگ دارد، در صورتی‌که در سنگ‌های مارنی این ویژگی‌ها اثر خیلی کم‌تری بر کیفیت سنگ دارند، به‌عبارت‌دیگر، مقاومت برشی مارن‌ها بیش‌تر تابع مقاومت چسبندگی است. افزایش میزان کرنات کلسیم در مارن سبب کاهش شاخص‌های خمیری و مقاومتی خاک می‌گردد. عوامل متعددی می‌تواند در ارزیابی رفتار مکانیکی مارن‌ها مؤثر باشند که شامل کانی‌شناسی اجزای تشکیل‌دهنده سنگ، نسبت فراوانی مواد رسی به کرنات کلسیم، نوع سیمان و نحوه فشردگی ذرات به همدیگر می‌باشد. در زمان فرآیند دیانز، شرایط آهک‌زدائی در اثر پدیده انحلال و ترک‌خوردگی ساختمان سنگ، منابع قرصه سنگ‌های مارنی با توجه به شرایط تشکیل و رفتاری که به هنگام بهره‌برداری از خود نشان می‌دهند به‌عنوان یکی از مسئله‌سازترین سنگ‌های رسوبی مورد توجه قرار گرفته‌اند (تاسیامبوس، ۱۹۹۱). در قسمت‌های مختلف جهان مارن‌ها به‌عنوان پی در بسیاری از ساختمان‌ها، جاده‌ها قسمت‌های اساس و زیراساس، سدها و غیره استفاده می‌شوند. با توجه به گسترش فراوان سنگ‌های مارنی در بسیاری از کشورها بررسی خصوصیات فیزیکی و مکانیکی این نوع از سنگ‌ها ضروری است (هوشمند و همکاران، ۲۰۱۲). مارن‌ها به‌عنوان سنگ‌های ضعیف طبقه‌بندی می‌شوند. خواص فیزیکی شامل تخلخل، دانسیته، حد روانی و خصوصیات مکانیکی مارن‌های منطقه پارس جنوبی شامل آزمایش مقاومت فشاری تک‌محوری، آزمایش

میوسن بالا) شامل دو عضو مارن‌های غالب و عضو ماسه‌سنگ‌های آهکی غالب، واحد نهنگ (ناپیوستگی تخریبی (کنگلومرای) پلیوسن- پلیوستوسن)، واحد چاپهار (رسوبات سطحی پلیوسن- پلیوستوسن) است. سیستم فرورانشی مکران در جنوب شرقی کشور و نیمه جنوبی استان سیستان و بلوچستان واقع است (دولتی، ۲۰۱۰). زاویه فرورانشی بسیار کم باعث شده که فاصله بین ابتدای گوه‌افزایی و کمان آتش‌فشانی بیش از ۴۰۰ کیلومتر باشد. در حال حاضر پوسته اقیانوسی عمان با سرعت تقریبی دو سانتی‌متر در سال در حال فرورانش به زیر ایران است (ورنانت و همکاران، ۲۰۰۴).

مواد و روش‌ها

در این مطالعه به منظور تعیین موضوع و روش پژوهش در ابتدا از روش کتابخانه‌ای استفاده شد. بدین منظور تعدادی منابع مختلف گردآوری و مطالعه شد. در مرحله‌ی بعد ۲۲ نمونه از منطقه مورد بررسی تهیه شد (جدول ۱). بعد از انتقال نمونه‌ها به آزمایشگاه، آزمون‌های آزمایشگاهی انجام شد. نمونه‌برداری در طول محور راه‌آهن چاپهار-نیکشهر و بر اساس تفاوت در هر واحد زمین‌شناسی از تمامی لایه‌های سنگ‌های آرژیلیتی هوازده و بکر انجام گرفته شده است (شکل ۱). ساختارها و واحدهایی که در برش مطالعه انتخاب گردید مطابق جدول ۲ است. به دلیل سست بودن نمونه‌ها و حساسیت در مقابل آب امکان مغزه‌گیری در برخی نمونه‌ها وجود نداشت و انجام آزمایش‌ها بر روی کلوخه‌ها انجام گرفت.

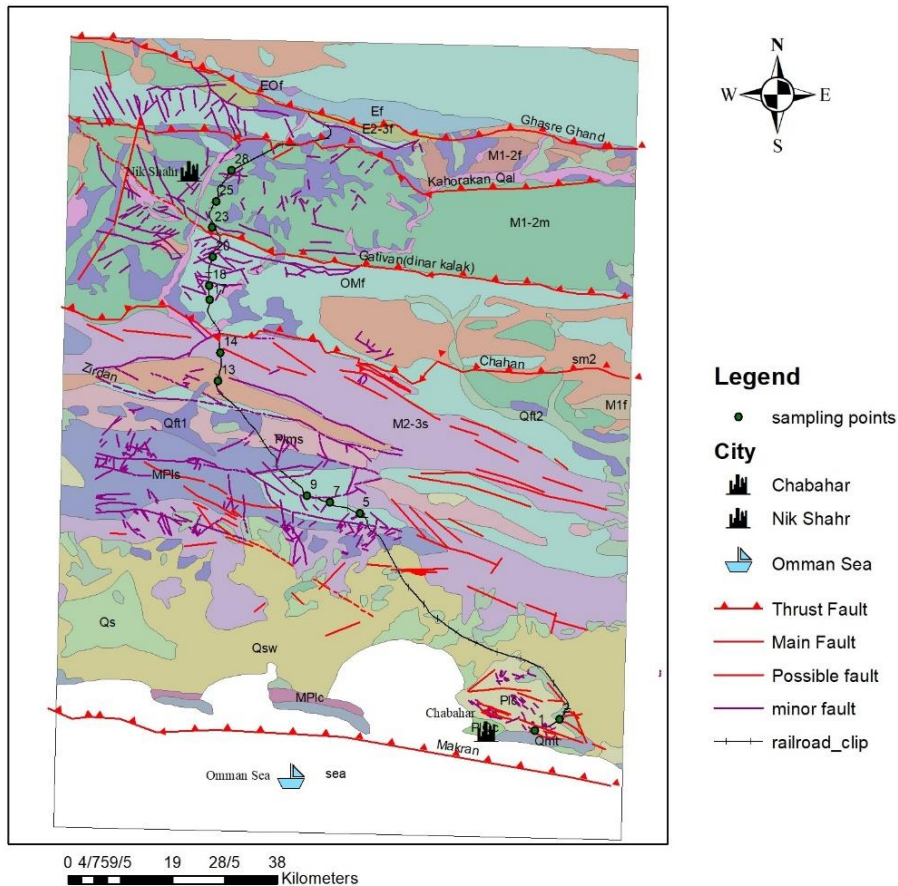
مطالعات سنگ‌شناسی

مطالعه مقاطع نازک نشان‌دهنده دو دسته رسوبات آواری درشت‌دانه (ماسه‌سنگ کربناته، سیلتستون) و رسوبات آواری ریزدانه (مارن، آهک ماسه‌ای و آهک سیلتی)، است (شکل ۲). این رسوبات در محیطی کم‌عمق و کم انرژی تشکیل شده‌اند که بیش‌تر با کانی‌های تخریبی همراه هستند. توزیع دانه‌ها عمدتاً سیلتی و زاویه‌دار در یک زمینه عمدتاً کربناته با درصد کربنات کلسیم کمتر از ۱۵ درصد هستند. نتایج XRD نشان‌دهنده ترکیبات کانی‌های کوارتز، کلسیت، آلبیت، کلینوکلر، مسکویت و دولومیت می‌باشد (شکل ۳).

راه‌آهن شناسایی کرد. ارزیابی خصوصیات زمین‌شناسی مهندسی سنگ‌های آرژیلیتی و طبقه‌بندی آن‌ها در پهنه‌های متفاوت مکران جنوبی با نگرشی ویژه به تأثیر پهنه‌های ساختاری را می‌توان به‌عنوان نوآوری تحقیق در نظر گرفت.

موقعیت جغرافیایی و زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه

به‌منظور بررسی مکران جنوبی و جمع‌آوری اطلاعات مرتبط با طرح‌های عمرانی یک برش عمودی بر مکران جنوبی در امتداد محور راه‌آهن چاپهار زاهدان انتخاب گردید (شکل ۱). پهنه زمین‌ساختی مکران به دو بخش ساختاری بیرونی (ساحلی) و درونی (داخلی) تقسیم می‌شود (آقناباتی، ۱۳۸۵) که منطقه مورد مطالعه در بخش ساحلی آن قرار دارد. مکران شامل کوه‌های خاوری-باختری است که از سواحل دریای عمان تا فروافتادگی جازموریان ادامه دارد. مرز باختری این کوه‌ها توسط خط عمان (گسل میناب) از پهنه برخوردی زاگرس جدا شده و در خاور پس از گذر از بلوچستان ادامه می‌یابد. به دلیل تداوم فرورانش در پاکستان تا محور لاس بلا ناحیه مکران، گسل‌ها هنوز فعال هستند و زمین به بالا آمدن ادامه می‌دهد که این عمل با چین‌خوردگی، کوتاه‌شدگی و پس‌روی خط ساحلی همراه است (آقناباتی، ۱۳۸۵). به دلیل قرارگیری منطقه مورد مطالعه بین دو گسل مکران و قصر-قند به بررسی این دو منطقه تحت عنوان مکران جنوبی (مکران خارجی- مکران ساحلی) پرداخته می‌شود. مکران خارجی حدفاصل گسل قصر-قند در شمال نیک شهر و گسل چاه خان قرار دارد که سن آن میوسن میانی است که شامل واحدهای قصر-قند (مارن میوسن زیرین)، واحد وزیری (ماسه‌سنگی میوسن زیرین)، واحد روکشا (شیل و ماسه‌سنگ میوسن زیرین) حدفاصل گسل تراسی گتیوان و قصر-قند قرار دارند. واحد پیر سهراب (توربیدات‌ها و رسوبات آبی کم‌عمق به سن میوسن میانی) حد واسط گسل چاه خان و گسل گتیوان قرار دارند (دولتی، ۲۰۱۰). مکران ساحلی تا جنوب مکران خارجی حدفاصل خط ساحلی و گسل چاه خان که دربرگیرنده رسوبات قاره‌ای و توالی کم‌عمق از مارن‌های سرایشیب قاره تا ساحلی است. این بخش از واحد رسوب‌گذاری قرار دارد که شامل واحدهای دره پهن (رسوبات آب‌های سطحی



Legend

Geology

GEO_UNIT, DESCRIPTIO

- E2-3f, sandstone-calcareous sandstone and limestone
- EOf, Rytically bedded sandstone and shale with volcanoclastic sandstone-minor limestone and tuff (e . g . Ruk-Nargakan-Mashkid units and Kamsefid sandstone)
- Ef, Eocene flysch in general-composed of shale-marl-sandstone, conglomerate and limestone
- M1-2f, Thickly bedded sandstone with interbedded siltstone and shale (e g Band - e - chaker-Shahr pum-Roksha and etc units)
- M1-2m, Shale-gypsiferous shale-gypsiferous mudstone and silty shale with minor sandstone and limestone (e g Sabz and Ghasr Gand units)
- M1f, Rhythmically bedded sandstone-calcareous sandstone-mudstone-gypsiferous mudstone and shale (e g Pishin and Dehdiran units)
- M2-3s, Sandstone-siltstone-conglomerate-shale-mudstone and shell bads (e g Darpahn and Jaghin units)
- MPic, Polymictic conglomerate-sandstone and mudstone (e g Tahtun unit and Palami conglomerate)
- MPIs, sandstone with siltstone-mudstone and minor conglomerate (e g Makran unit)
- OMf, Rhythmically bedded sandstone and shale-with minor siltstone and mudstone (e g Angohran unit)
- PIQc, Fluvial conglomerate-Piedmont conglomerate and sandstone.
- Pic, Polymictic conglomerate and sandstone
- PIms, Marl-shale-sandstone and conglomerate
- Qal, Stream channel-braided channel and flood plain deposits
- Qft1, High level piedmont fan and vally terrace deposits
- Qft2, Low level piedment fan and vally terrace deposits
- Qmt, Undifferentiated marine terraces
- Qs, Sand duens and sand sheet
- Qsw, Swamp
- sm2, Sedimentary melange - sheard and boudined sediments with norecognisable stratigraphy-containing tectonic blocks of Cretaceous to Miocene age

شکل ۱. نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه (اقتباس از دولتی، ۲۰۱۰؛ جعفریان و همکاران، ۲۰۰۴؛ اشراقی و همکاران، ۱۹۹۶؛ آقاناتی، ۱۹۹۶)

ارتباط نزدیک با میزان کلسیم موجود در سنگ است. با استفاده از آزمایش کلسیومتری به روش تیتراسیون بازگشتی، درصد کربنات کلسیم موجود در نمونه‌های آرژیلیتی تعیین شده است (شکل ۴). در این روش از محلول اسید کلریدریک یک نرمال و محلول سود نیم نرمال

آنالیز شیمیایی

نتایج آنالیز XRF نمونه‌ها نشان می‌دهد که عمده اکسیدهای تشکیل‌دهنده CaO ، Fe_2O_3 ، Al_2O_3 ، SiO_2 می‌باشد ویژگی‌های شاخص سنگ‌های مارنی مانند حدود آتبرگ، مقاومت تراکمی تک‌محوری و بار نقطه‌ای در

استفاده شده است که نتایج آن در جدول‌های ۷ و ۸ آورده شده است.

خصوصیات فیزیکی

اندازه‌گیری خصوصیات فیزیکی (شکل ۵) مطابق استانداردهای انجمن بین‌المللی مکانیک سنگ (ASTM D 2216-80, 1989) انجام شده است که در جدول‌های ۷

و ۸ آورده شده است. آنون سنگ‌ها را بر اساس چگالی خشک و درصد تخلخل دسته‌بندی کرده است که نتایج آن در جدول ۶ و همچنین موقعیت نمونه‌ها بر اساس تغییرات تخلخل و چگالی در شکل ۶ نمایش داده شده است. در این دسته‌بندی، هرچه سنگ تخلخل بیش‌تر و چگالی خشک کم‌تری داشته باشد، سنگ ضعیف‌تری است (آنون، ۱۹۷۹).

جدول ۱. مختصات جغرافیایی نقاط نمونه‌برداری

شماره ایستگاه	شماره نمونه	ZONE	UTM:X, Y
28	28-S, 28-Sh	41	X:222318 Y:2902002
25	25-S, 25-SH	41	X:219648 Y:2896433
23	23-S, 23-Sh	41	X:218867 Y:2891758
20	20-Sh, 20-M	41	X:218863 Y:2886388
18	18-S	41	X:218213 Y:2881255
17	17-S	41	X:218241 Y:2878646
14	14-S, 14-Sh	41	X:219737 Y:2869064
13	13-M	41	X:219230 Y:2863965
9	9-S, 9-M	41	X:233393 Y:2842906
7	7-S, 7-M	41	X:237145 Y:2841645
5	5-S	41	X:241972 Y:2839537
1	1-S, 1-M	41	X:27000 Y:2799706
2	2-S, 2-M	41	X:274079 Y:2801701

جدول ۲. تقسیم‌بندی‌های ساختاری، واحدهای چین‌شناسی منطقه مورد مطالعه و محل‌های نمونه‌برداری

Sample No.	Unit	Stage	Epoch	Mechanism	Sub zone	Zone
23,25, 28	Sabz and Ghasr Ghand	Burdigalian	Miocene	Thrust fault	Kahorakan-Gativan	Gativan
17,18, 20	Angoran unit	Burdigalian	Miocene	Thrust fault	Gativan-Chahan	Chahan
14	Darepahn and Jaghin unit	Tortonian	Miocene	Normal Fault	Chahan-Ziradan	Zirdan
13	Angoran unit	Tortonian				
5, 7	Angoran unit	Tortonian	Miocene			
9	Angoran unit	Messinian				
-			Miocene-Pliocene	Normal Fault	Zirdan-Makran	Makran
1	Chabahar		Pliocene			
2	Chabahar		Pliocene-Quaternary			
-			Quaternary			

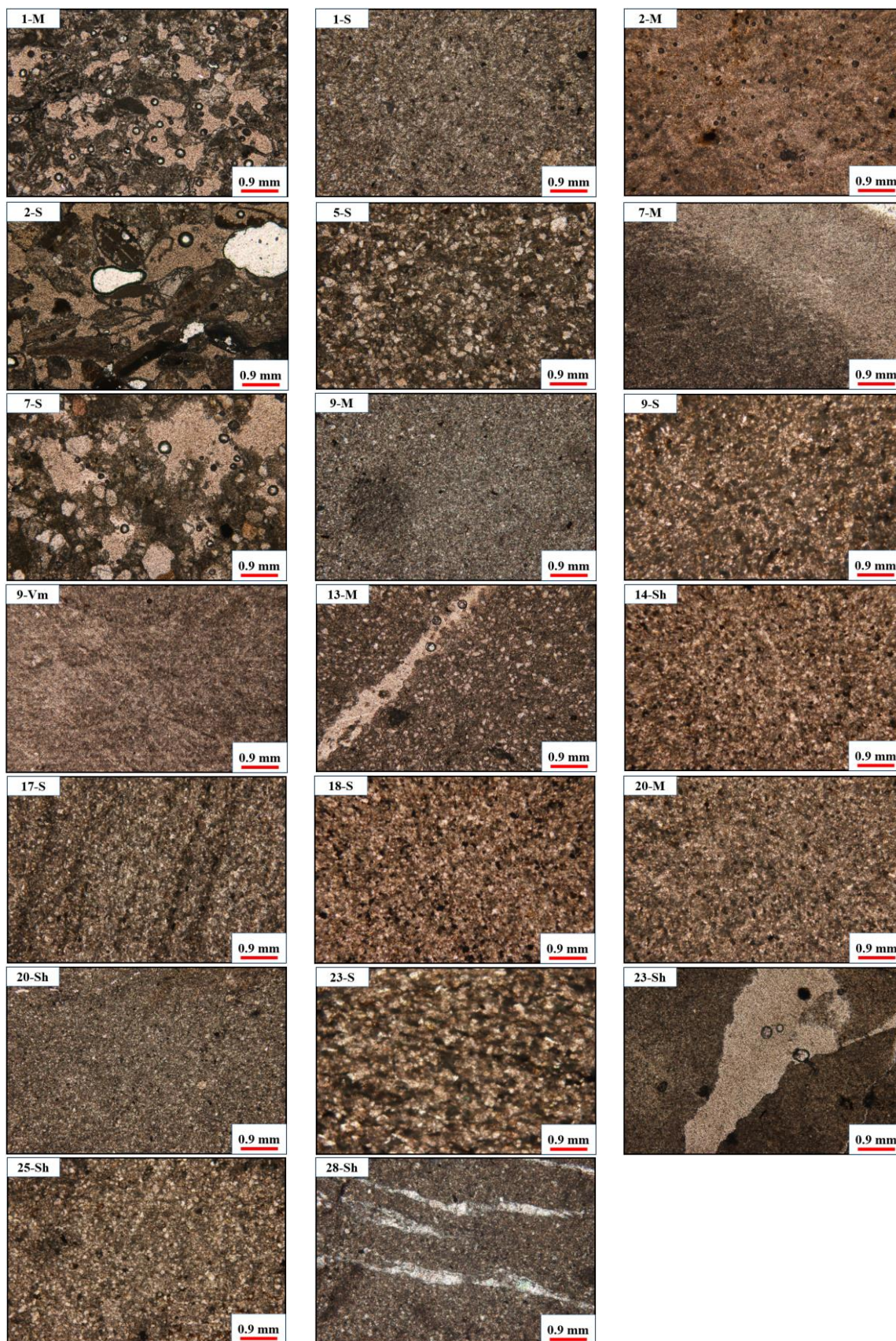
Coastal Makran

جدول ۳. مطالعه مقاطع نازک رسوبات آواری دشت دانه

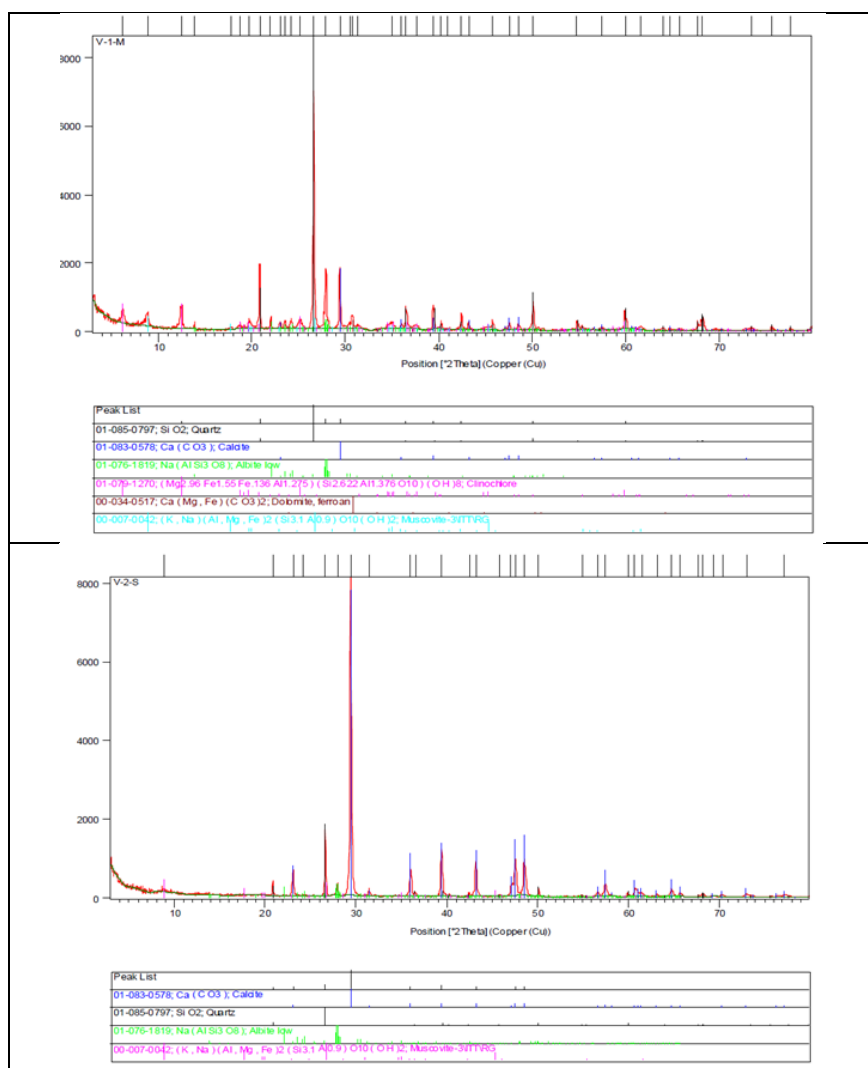
شماره نمونه	نام‌سنگ	توصیف
1-S	ماسه‌سنگ آهکی (هیبرید)	خرده‌های کوارتز در حد سیلت با زمینه کربناته و رگه‌های کلسیتی که در یک محیط کم‌عمق و کم انرژی تشکیل شده‌اند.
2-S	ماسه‌سنگ آهکی (هیبرید)	خرده‌های کوارتز و قطعات اسکلتی در حد سیلت با زمینه کربناته و رگه‌های کلسیتی که در یک محیط کم‌عمق و کم انرژی تشکیل شده‌اند.
5-S	سیلتستون - مخلوط کربناته + سیلیس کلاستیک	خرده‌های کوارتز و دانه‌های بلوری کلسیتی که در یک محیط کم‌عمق و کم انرژی تشکیل شده‌اند.
7-S	آهک تخریبی	دانه‌های تخریبی کوارتز با سطوح زاویه‌دار به همراه فلدسپات، خرده‌های سنگی (آتش‌فشانی، چرت) که در یک محیط کم انرژی تشکیل شده‌اند.
9-M	ماسه‌سنگ آهکی (هیبرید)	خرده‌های کوارتز در حد سیلت با زمینه کربناته و رگه‌های کلسیتی که در یک محیط کم‌عمق و کم انرژی تشکیل شده‌اند.
9-S	سیلتستون	خرده‌های کوارتز در حد سیلت با زمینه کربناته که در یک محیط کم انرژی تشکیل شده‌اند.
13-M	سیلتستون	دانه‌های کوارتز در حد سیلت با آثار زیست‌آشفته‌گی به همراه خرده‌های ریز گیاه و اکسیدهای آهن که محیط ساحلی تا دریایی کم‌عمق با انرژی کم تشکیل شده‌اند.
14-S	سیلتستون	دانه‌های تخریبی کوارتز در حد سیلت با زمینه کربناته که در یک محیط دریایی تشکیل شده‌اند.
17-S	کوارتز سیلتستون با ساختمان لامینه	دانه‌های ریز کوارتز به همراه دانه‌های ریز کربناته و کانی‌های رسی محیط دریایی کم‌عمق تشکیل شده‌اند.
18-S	سیلتستون	دانه‌های تخریبی زاویه‌دار کوارتز در حد سیلت با زمینه رس، کلسیت و خرده‌های گیاهی که در یک محیط قاره‌ای تشکیل شده‌اند.
20-Sh	کوارتز سیلتستون	دانه‌های تخریبی کوارتز، در حد سیلت، دارای آثار زیست‌آشفته‌گی
23-Sh	کوارتز سیلتستون	دانه‌های تخریبی کوارتز، در حد سیلت، دارای آثار زیست‌آشفته‌گی
25-Sh	کوارتز سیلتستون	دانه‌های ریز کوارتز با زاویه‌داری زیاد و فاقد گرد گوشگی در حد سیلت که محیط دریایی کم‌عمق تشکیل شده‌اند.
28-S	لیتیک آرنایت	دانه‌های کوارتز زاویه‌دار که در یک محیط کم انرژی تشکیل شده‌اند.

جدول ۴. مطالعه مقاطع نازک رسوبات آواری ریزدانه

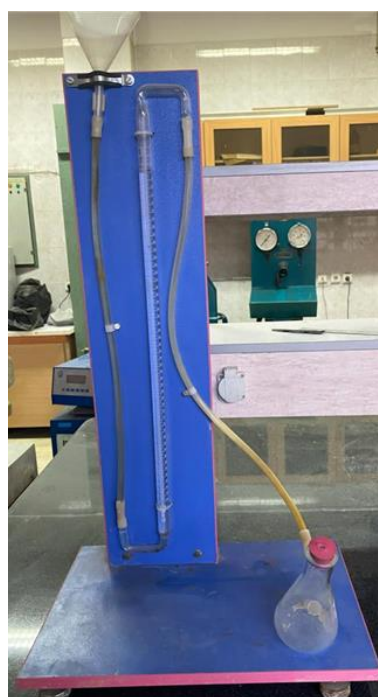
شماره نمونه	نام‌سنگ	توصیف
1-M	مادستون سیلتی	خرده‌های فسیل به همراه دانه‌های تخریبی کوارتز به‌صورت پراکنده در حد سیلت با زمینه کربناته که در یک محیط دریایی (دریای باز) با انرژی کم تشکیل شده‌اند.
2-M	مادستون سیلتی	خرده‌های فسیل به همراه دانه‌های تخریبی کوارتز به‌صورت پراکنده در حد سیلت با زمینه کربناته که در یک محیط دریایی (دریای باز) با انرژی کم تشکیل شده‌اند.
7-M	مارن	کانی‌های رسی به همراه کلسیت، پیریت‌های اتوژنیک، کوارتزهای تخریبی با زمینه رسی که در یک محیط دریایی و کم انرژی تشکیل شده‌اند.
7	کربنات سیلیکات - سنگ حدواسط است (تخریبی - کربناته)	دانه‌های تخریبی کوارتز، فلدسپات، خرده‌های سنگی (آتش‌فشانی، چرت) که اکثراً زاویه‌دار و فاقد گرد گوشگی در یک زمینه سیمان کلسیت‌اسپاری محیط کم انرژی تشکیل شده‌اند.
9-V	مارن	کانی‌های رسی که با اسید می‌جوشد و فقط رس باقی می‌ماند به همراه دانه‌های ریز کوارتز، اکسیدهای آهکی و کانی‌های رسی.
14-Sh	آهک‌ماسه‌ای	دانه‌های ریز کوارتز به همراه خرده‌های ریز گیاه و اکسیدهای آهن در حد سیلت که دارای آثار زیست‌آشفته‌گی است و در یک محیط ساحلی تا دریایی کم‌عمق با انرژی کم تشکیل شده‌اند.
20-M	آهک‌ماسه‌ای	دانه‌های کوارتز با زمینه کربنات و رس که در یک محیط کم انرژی دریایی تشکیل شده‌اند.
23-S	آهک‌ماسه‌ای	دانه‌های تخریبی کوارتز به همراه خرده‌های غیراسکلتی و کلسیت که در یک محیط ساحلی (سنگ مخلوطی از کربناته و تخریبی) تشکیل شده‌اند.
25-S	آهک تخریبی	دانه‌های کوارتز با زمینه کربنات کلسیم که در یک محیط کم‌عمق تشکیل شده‌اند.
28-Sh	آهک سیلت‌استونی	دانه‌های تخریبی کوارتز در حد سیلت که آثار پیریت‌های اتوژنیک به مقداری زیادی در یک زمینه کربناته گسترش دارد.



شکل ۲. تصاویر میکروسکوپی مقاطع نازک سنگ‌شناسی



شکل ۳. نتایج پراش پرتو ایکس (XRD) برای دو نمونه M-۱ و S-۲



شکل ۴. دستگاه تعیین درصد کربنات کلسیم

جدول ۵. نتایج حاصل از پراش پرتو ایکس (XRF)

Sample No.	L.O. I	Na2O	MgO	Al2O3	SiO2	K2O	CaO	Fe2O3
1-S	۲۹/۷۴	۰/۶۱	۶/۰۱	۳/۴۵	۲۲/۴۶	۰/۶۷	۳۴/۳۷	۱/۹۵
1-M	۸/۷۱	۱/۴۴	۴/۲۱	۱۲/۷۸	۵۲/۷۳	۲/۳۴	۹/۱۶	۷/۱۲
2-S	۳۶/۵۷	۰/۲۵	۰/۷۱	۱/۲۳	۷/۰۵	۰/۲۷	۵۲/۳۲	۱/۱۶
2-M	۱۱/۴۲	۰/۷۲	۴/۷۳	۱۴/۷۳	۴۹/۹۴	۲/۹۴	۸/۱۸	۶/۱۶
5-S	۹/۴۹	۱/۳۰	۳/۵۲	۱۰/۶۸	۵۶/۸۱	۱/۸۴	۱۱/۷۶	۳/۷۵
7-S	۱۶/۴۸	۱/۰۴	۲/۴۰	۵/۱۱	۴۳/۱۷	۱/۰۹	۲۷/۲۷	۲/۵۱
7-M	۸/۵۳	۱/۱۹	۴/۱۷	۱۴/۷۵	۵۶/۶۴	۲/۷۳	۴/۸۵	۵/۹۰
9-M	۱۷/۱۰	۱/۵۱	۳/۳۷	۷/۴۶	۴۲/۴۳	۱/۰۵	۲۲/۰۷	۴/۰۹
9-S	۸/۲۴	۱/۱۴	۴/۱۱	۱۵/۱۳	۵۶/۸۸	۳/۰۴	۴/۲۹	۵/۸۹
13-M	۷/۴۵	۱/۱۰	۳/۸۶	۱۴/۸۷	۵۸/۷۱	۲/۹۴	۴/۴۷	۵/۶۲
14-S	۱۲/۲۱	۱/۶۳	۲/۲۶	۸/۲۲	۵۱/۹۳	۱/۲۲	۱۸/۸۸	۲/۷۰
14-Sh	۷/۵۷	۱/۱۶	۴/۹۴	۱۷/۵۵	۵۱/۸۷	۳/۳۱	۵/۰۷	۷/۰۱
17-S	۷/۸۴	۱/۲۱	۴/۰۰	۱۴/۸۶	۵۷/۶۰	۲/۸۶	۵/۵۴	۶/۰۴
18-S	۸/۹۹	۱/۷۳	۲/۵۶	۹/۴۵	۵۹/۸۵	۱/۲۹	۱۲/۴۰	۲/۹۷
20-M	۱۰/۸۰	۱/۴۰	۳/۴۵	۱۱/۶۰	۵۵/۵۷	۱/۷۹	۱۰/۶۹	۴/۵۱
20-Sh	۶/۹۸	۰/۹۲	۴/۴۸	۱۶/۴۰	۵۶/۹۷	۳/۳۶	۲/۸۷	۶/۹۹
23-S	۱۱/۲۲	۱/۶۸	۱/۶۰	۶/۱۵	۵۷/۲۱	۰/۸۰	۱۸/۷۰	۲/۰۳
23-Sh	۷/۰۰	۰/۸۶	۴/۲۵	۱۶/۲۴	۵۷/۶۳	۳/۵۲	۲/۹۰	۶/۶۲
25-S	۱۲/۴۱	۱/۹۵	۲/۸۸	۱۰/۹۵	۴۸/۵۰	۱/۷۱	۱۶/۹۲	۳/۶۶
25-Sh	۷/۷۶	۱/۰۹	۴/۰۹	۱۵/۸۵	۵۶/۵۱	۳/۳۰	۳/۹۰	۶/۵۳
28-S	۸/۲۴	۱/۵۹	۳/۲۰	۱۱/۳۰	۵۹/۹۸	۱/۶۴	۹/۵۴	۳/۷۵
28-Sh	۱۱/۲۴	۱/۱۳	۳/۷۴	۱۳/۳۳	۵۱/۵۲	۲/۵۲	۱۰/۰۰	۵/۵۳

جدول ۶. طبقه‌بندی چگالی خشک و تخلخل سنگ‌ها بر اساس LAFG (آنون، ۱۹۷۹)

رده	ρ_d (gr/cm ³)	شماره نمونه*	توصیف	%n	شماره نمونه	توصیف
۱	۱/۸ <	2-S, 2-M, 1-M	خیلی پایین	۳۰ <	2-S, 2-M	خیلی بالا
۲	۱/۲-۸/۲	5-S	پایین	۳۰-۱۵	5-S, 1-M	بالا
۳	۲/۲-۲/۵۵	18-S, 9-M, 7-S, 1-S, 7-M	متوسط	۱۵-۵	13-M, 18-S, 9-M, 7-S, 1-S, 28-Sh, 23-Sh, 14-Sh, 7-M	متوسط
۴	۲-۷/۵ ۲/۵۵	28-S, 25-S, 23-S, 17-S, 14-S, 13-M, 9-S, 28-Sh, 23-Sh, 20-M, 14-Sh	بالا	۵-۱	28-S, 25-S, 23-S, 17-S, 14-S, 9-S, 20-M	پایین
۵	۲/۷۵ >	-	خیلی بالا	۱ >	-	خیلی پایین

* نمونه‌هایی که به‌صورت پررنگ مشخص شده‌اند در محدوده مکران ساحلی قرار دارند.



شکل ۵. دستگاه دیسیکاتور به منظور تعیین خصوصیات فیزیکی

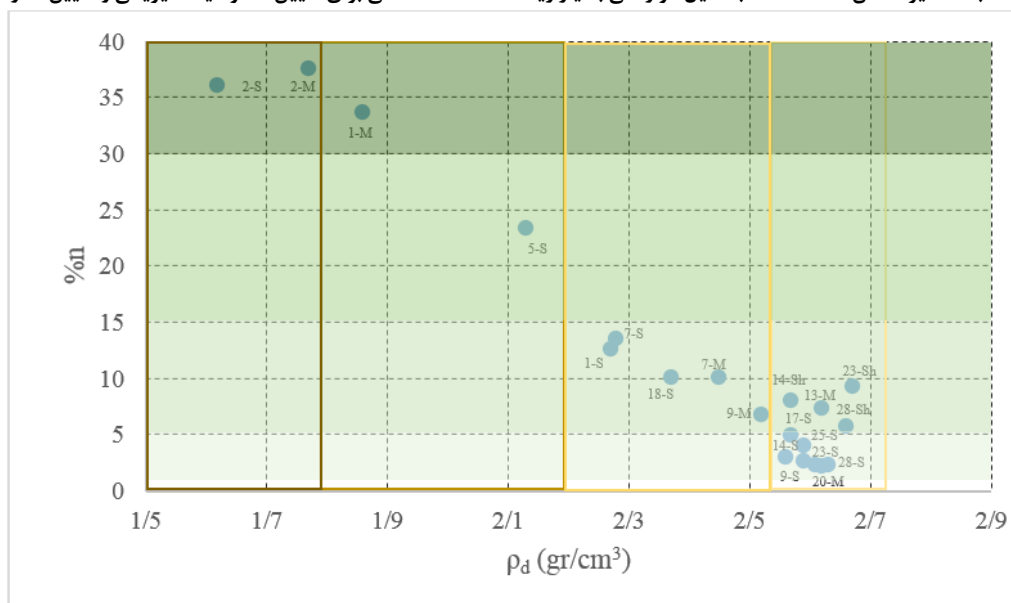
جدول ۷. نتایج آزمون‌های آزمایشگاهی رسوبات آواری درشت‌دانه

Sample No.	ρ_d (gr/cm ³)	W (%)	n (%)	CaCO ₃ (%)	Is ₅₀ (MPa)
28-S	۲/۶۳	۰/۲۶	۲/۲۹	۱۲/۵	۰/۲۷
25-S	۲/۵۹	۰/۳۸	۳/۹۷	۲/۳۳	۶/۴۷
23-S	۲/۶۱	۰/۱۴	۲/۲۵	۲/۴۵	۰/۳۱
18-S	۲/۳۷	۰/۴۳	۱۰/۰۹	۱۲/۴۴	۰/۰۵
17-S	۲/۵۷	۰/۳۵	۴/۹۳	۴/۱۹	۰/۱۸
14-S	۲/۵۶	۰/۲۵	۳/۰۳	۹/۹۶	۵/۷۲
13-M	۲/۶۲	۰/۶۳	۷/۳۰	۵/۹۵	۰/۰۷
9-S	۲/۵۹	۰/۱۴	۲/۵۸	۳/۵۵	۰/۳۱
9-M	۲/۵۲	۰/۴۱	۶/۷۰	۹/۴۳	۰/۳۰
7-S	۲/۲۸	۰/۲۷	۱۳/۴۷	۱۳/۲۹	۰/۰۳
5-S	۲/۱۳	۰/۴۴	۲۳/۳۵	۹/۵۹	۰/۰۲
1-S	۲/۲۷	۰/۲۶	۱۲/۶۴	۷/۵۸	۰/۱۰
2-S	۱/۶۲	۰/۱۵	۳۵/۹۹	۹۰/۴۴	۰/۰۲

جدول ۸. نتایج آزمون‌های آزمایشگاهی رسوبات آواری ریزدانه

Sample No.	ρ_d (gr/cm ³)	W (%)	n (%)	CaCO ₃ (%)	Is ₅₀ (MPa)
28-Sh	۲/۶۶	۰/۷۹	۵/۷۴	۱۲/۵	-
25-SH	-	-	-	۲/۳۳	-
23-Sh	۲/۶۷	۰/۹۵	۹/۲۲	۲/۴۵	-
20-Sh	-	-	-	۲/۵۹	-
20-M	۲/۶۲	۰/۳۹	۲/۱	۳/۰۱	۰/۳۸
14-Sh	۲/۵۷	۰/۷۲	۸/۰۱	۸/۱۱	-
7-M	۲/۴۵	۱/۲۱	۱۰/۰۵	۴/۶	۱/۷۱
2-M	۱/۷۷	۲/۴۵	۳۷/۵۳	۱۶/۶۴	۰/۰۲
1-M	۱/۸۶	۰/۸۵	۳۳/۶۲	۱۵/۰۱	۰/۰۱

(ب) نمونه‌هایی که با خط تیره نشان داده شده‌اند به دلیل هوازگی بسیار زیاد فاقد قطعات سنگی برای تعیین خصوصیات فیزیکی و تعیین مقاومت هستند.



شکل ۶. طبقه‌بندی نمونه‌ها بر اساس چگالی خشک و تخلخل سنگ‌ها بر اساس LAFG (آنون، ۱۹۷۹)

آزمون مقاومت بار نقطه‌ای

آزمایش تراکمی تک‌محوره که به منظور تعیین مقاومت سنگ به کار می‌رود که تهیه مغزه‌ها و انجام آزمایش، زمان و هزینه نسبتاً زیادی را می‌طلبد و همچنین محدودیت استفاده در سنگ‌های آرژیلیتی به دلیل عدم تهیه مغزه‌های سنگی، از آزمایش‌های جایگزین نظیر آزمایش مقاومت بار نقطه‌ای استفاده شده است که باعث کاهش چشم‌گیر هزینه و زمان انجام مطالعات می‌گردد (شکل ۷). آزمایش مقاومت بار نقطه‌ای برای تعیین شاخص بار نقطه‌ای نمونه‌های سنگی به کار می‌رود. بنیواسکی سنگ‌ها را بر

اساس مقاومت بار نقطه‌ای تقسیم‌بندی کرده‌اند (بنیواسکی، ۱۹۷۳). سنگ‌های ضعیف بر اساس طبقه‌بندی‌های بنیواسکی دارای شاخص بار نقطه‌ای به ترتیب کمتر از ۲/۵ و ۲ مگاپاسکال می‌باشند (جدول ۹). آزمایش بار نقطه‌ای به‌عنوان یک آزمایش شاخص برای طبقه‌بندی و نیز تخمین مقاومت تراکمی تک‌محوره به کار می‌رود. برای برخی نمونه‌ها به دلیل هوازگی و خردشدگی بسیار زیاد امکان تهیه نمونه حتی به صورت کلوخه وجود نداشت بدین منظور از رابطه ۱ استفاده شده که نتایج آن در جدول ۱۰ آورده شده است.



شکل ۷. دستگاه آزمون شاخص بار نقطه‌ای

جدول ۹. طبقه‌بندی سنگ‌ها بر اساس اندیس مقاومت بار نقطه‌ای

مقاومت بار نقطه‌ای (MPa)			توصیف	رده	
شماره نمونه	بنیواسکی (۱۹۷۳)	شماره نمونه	دیر (۱۹۶۸)	مقاومت	
25-S	>۸	-	>۱۰	خیلی بالا	A
14-S	۸-۴	25-S, 14-S	۱۰-۵	بالا	B
-	۴-۲	-	۲/۵-۵	متوسط	C
7-M	۲-۱	7-M	۱/۲-۵/۵	پایین	D
1-S, 1-M, 2-S, 2-M, 5-S, 7-S, 9-M, 9-S, 13-M, 17-S, 18-S, 20-M, 23-S, 28-S	۱-۰	1-S, 1-M, 2-S, 2-M, 5-S, 7-S, 9-M, 9-S, 13-M, 17-S, 18-S, 20-M, 23-S, 28-S	۱-۰/۵	خیلی پایین	E

$$UCS=24.4 \text{ PLI (Strong rocks)}$$

$$UCS=3.86(\text{PLI})^2 + 5.65 \text{ PLI (Weak rocks)}$$

(کووان و راسل، ۲۰۰۳)

رابطه (۱)

جدول ۱۰. تعیین مقاومت تراکمی تک‌محوره با استفاده از نتایج بار نقطه‌ای به صورت غیرمستقیم

رسوبات آواری درشت‌دانه														رسوبات آواری ریزدانه		
28-S	25-Sh	23-Sh	20-Sh	18-S	17-S	14-S	13-M	9-S	9-M	7-S	5-S	2-S	1-S	کد نمونه	PLI(Mpa)	UCS
0.27	-	-	-	0.05	0.18	5.72	0.07	0.31	0.3	0.03	0.02	0.02	0.1	PLI(Mpa)		
1.84	-	-	-	0.31	1.12	158.73	0.44	2.13	2.08	0.18	0.09	0.12	0.61	UCS		
28-Sh	25-S	23-S	20-M	-	-	14-Sh	-	-	9-V	7-M	-	2-M	1-M	کد نمونه	PLI(Mpa)	UCS(Mpa)
-	6.47	0.31	0.38	-	-	-	-	-	-	1.71	-	0.02	0.01	PLI(Mpa)		
-	1.45	2.15	2.71	-	-	-	-	-	-	20.96	-	0.09	0.06	UCS(Mpa)		

*برای برخی نمونه‌ها به دلیل هوازدگی و خردشدگی بسیار زیاد امکان تهیه نمونه حتی به صورت کلوخه وجود نداشت که با خط تیره نشان داده شده‌اند.

طبقه‌بندی مهندسی سنگ

به منظور طبقه‌بندی مهندسی توده سنگ نسبت به برداشت صحرایی در واحدهای مختلف مطابق جدول ۲ اقدام گردید و سپس به روش RMR (بنیاوسکی، ۱۹۸۹)، Q-System (بارتون، ۱۹۸۷) و GSI (میرنوس و هوک، ۲۰۰۱) طبقه‌بندی انجام گرفت که نتایج آن مطابق جدول ۱۱ است. به منظور بررسی تغییرات رفتاری در مکران جنوبی (مکران ساحلی و بیرونی) و نوع ساختار گوه‌های برافزایشی در زون‌های فرورانش این پهنه به چهار زیر پهنه ساختاری تقسیم شد (شکل ۱) تا بتوان اثرات تغییر حوزه‌های رسوب‌گذاری در اثر شرایط ساختاری حاکم بر منطقه را نیز در نظر گرفت. نمونه‌برداری از واحدهای انگوران، سبزه و قصر- قند، دره‌پهن و جگین و چابهار به سن‌های اولیگومیوسن، میوسن، پلیوسن و کواترنری انجام گرفت، به گونه‌ای که در جهت حرکت از شمال به جنوب سن رسوبات جوان‌تر می‌گردد (جدول ۲). تغییر در خصوصیات فیزیکی و مکانیکی رسوبات این زیر پهنه‌ها باعث گردیده است تحت تأثیر فشارهای حاصل از فرورانش رفتارهای متفاوتی را از خود نشان دهند، به گونه‌ای که عمده گسل‌ها در مکران ساحلی کششی هستند و هر چه به سمت شمال حرکت می‌کنیم ساختارهای چین‌خورده بیشتر مشاهده می‌شوند. برداشت‌های زمین‌شناسی مهندسی به منظور طبقه‌بندی مهندسی سنگ نشان‌دهنده طبقه‌بندی ضعیف و خیلی ضعیف هستند (جدول ۱۱). به منظور مقایسه واحدهای رسوب‌گذاری پس از مطالعه مطالعه مقاطع نازک نشان‌دهنده دو دسته آواری درشت‌دانه (ماسه‌سنگ کربناته، سیلتستون) و رسوبات آواری ریزدانه (مارن، آهک ماسه‌ای و آهک سیلتی)، است این رسوبات در محیطی کم‌عمق و کم انرژی تشکیل شده‌اند که بیشتر با کانی‌های تخریبی همراه هستند. توزیع دانه‌ها عمدتاً سیلتی و زایوه‌دار در یک زمینه عمدتاً کربناته با درصد کربنات کلسیم کمتر از ۱۵ درصد هستند (شکل ۲). نتایج XRD نشان‌دهنده ترکیبات کانی‌های کوارتز، کلسیت، آلبیت،

کلینوکلر، مسکویت و دولومیت می‌باشد (شکل ۳). نتایج آنالیز XRF نمونه‌ها نشان می‌دهد که عمده اکسیدهای تشکیل‌دهنده Al_2O_3 ، SiO_2 ، Fe_2O_3 و CaO می‌باشد. ویژگی‌های شاخص سنگ‌های آرژیلیتی مانند حدود آتربرگ، مقاومت تراکمی تک‌محوری و بار نقطه‌ای در ارتباط نزدیک با میزان کلسیم موجود در سنگ است. مقدار درصد کربنات کلسیم در واحدهای رسوبی آواری درشت‌دانه و ریزدانه‌ای که به سن میوسن و میوپلیوسن هستند بین ۲ تا ۳۰ درصد و نمونه‌های آواری درشت‌دانه در مکران ساحلی و نزدیک دریا به سن پلیوسن و کواترنری هستند به دلیل وجود تشکیل کلسیت اسپارایتی مقدار آن بین ۷۰ تا ۸۰ درصد می‌رسد این مقدار کربنات کلسیم برای نمونه‌های ریزدانه به‌طور متوسط ۱۵ درصد است. بررسی نتایج آزمون‌های فیزیکی (و جدول ۸) نشان می‌دهد رسوبات مطابق طبقه‌بندی آنون (جدول ۶) به سه دسته چگالی خیلی پایین، پایین و متوسط تقسیم می‌شوند؛ و از نظر تخلخل به چهار دسته پایین، متوسط، بالا و خیلی بالا تقسیم می‌شوند. تخلخل بیش‌ترین مقدار همبستگی را با تغییر در زیر پهنه‌ها با در نظرگیری سن نمونه‌ها نشان می‌دهد و نمونه‌هایی که در مکران ساحلی قرار دارند تخلخل بالا و خیلی بالا هستند، به گونه‌ای که ماسه‌سنگ‌های آهکی (هیبریدی) و گل‌سنگ‌های سیلتی که در نزدیکی ساحل قرار دارند دارای تخلخل خیلی بالا هستند (جدول‌های ۷ و ۸). آماده‌سازی نمونه از سنگ‌های آرژیلیتی برای آزمایش تراکمی تک‌محوره به دلیل عدم تهیه مغزه‌های سنگی و ایجاد محدودیت، از آزمایش‌های جایگزین نظیر آزمایش مقاومت بار نقطه‌ای استفاده شده تا بتوان از نتایج آن به صورت غیرمستقیم برای تخمین مقاومت تراکمی تک‌محوره سنگ استفاده گردد. نتایج این آزمون برای نقاطی که امکان تهیه نمونه استاندارد آزمایش وجود داشت در جدول ۱۰ آورده شده است. باین وجود برخی از نمونه‌ها به دلیل شرایط هوازدگی و خردشدگی بسیار زیاد امکان آزمون وجود نداشت. تعیین مقاومت

به دلیل حساسیت نمونه‌ها نسبت به آب و دشوار بودن تهیه نمونه برای آزمون‌های تعیین مقاومت تک‌محوره می‌توان از روش‌های غیرمستقیم همچون آزمون بار نقطه‌ای استفاده کرد. نتایج آزمون بار نقطه‌ای نشان می‌دهد عمده رسوبات دارای مقاومت کمتر از ۲۰ مگاپاسکال می‌باشند. مطالعات سنگ‌شناسی و خصوصیات فیزیکی نشان می‌دهد که رسوباتی که در مکران ساحلی قرار دارند به دلیل جوان بودن حوزه رسوب‌گذاری دارای تخلخل بیشتر و درصد کربنات کلسیم بالاتر هستند و خصوصیات مقاومتی کمتری می‌باشند. به منظور بررسی پارامترهای مؤثر بر مقاومت از نتایج مقدار همبستگی استفاده گردید. نتایج آزمون بار نقطه‌ای نشان می‌دهد که تغییرات تخلخل بیشترین همبستگی را نسبت، درصد کربنات کلسیم و درصد SiO_2 دارد و با افزایش تخلخل مقدار مقاومت با مقدار همبستگی ($R^2=0.94$) کاهش پیدا می‌کند (شکل ۸) و همچنین رابطه مقاومت فشاری تک‌محوری با دانسیته و $CaCO_3^{-2}$ به ترتیب برابر ($R^2=0.81$) و ($R^2=0.89$) می‌باشد (شکل ۹ و شکل ۱۰). به منظور طبقه‌بندی سنگ‌های منطقه از نتایج آزمون بار نقطه‌ای استفاده گردید که نشان می‌دهد در جهت حرکت به سمت جنوب و جوان شدن سن نمونه‌ها مقدار تخلخل افزایش پیدا می‌کند و روند مقاومت نیز کاهشی می‌باشد.

تراکمی تک‌محوره به صورت غیرمستقیم با استفاده از رابطه ۱ نشان می‌دهد بیشتر نمونه‌ها دارای مقاومت تک‌محوره کمتر از ۲۰ مگاپاسکال است و نمونه‌هایی که در مکران ساحلی قرار دارند دارای کمترین مقدار مقاومت هستند. به منظور ایجاد همبستگی بین تخلخل و مقادیر مقاومت تراکمی تک‌محوره با استفاده از رابطه (کویین و راسل، ۲۰۰۳) که برای سنگ‌های ضعیف مورد استفاده قرار گرفته است، نتایج نمونه‌های دارای کمترین و بیشترین مقاومت حذف گردید که نشان‌دهنده همبستگی بالا ($R^2=0.95$) می‌باشد. به گونه‌ای که نمونه‌های با تخلخل بالا و خیلی بالا دارای مقاومت پایین‌تر هستند (شکل ۸). مکران جنوبی حذفاصل دو گسل تراستی مکران و قصر- قند در قسمت جنوب شرقی ایران قرار دارد. این پهنه بر اساس عکس‌های هوایی، نقشه‌های زمین‌شناسی و مطالعات قبلی سن‌سنجی به چهار زیرپهنه مکران، زبردان، چاهان و گتیوان تقسیم‌بندی شد. بررسی‌های سنگ‌شناسی نشان می‌دهد که عمده رسوبات از خرده‌های کوارتز در حد سیلت با زمینه کربناته که دارای کانی‌های فرعی کلسیت و خرده‌های فسیل است و نشان‌دهنده محیطی دریایی کم‌عمق و کم انرژی به سن نئوژن می‌باشند و می‌توان آن‌ها را تحت عنوان رسوبات آرژیلیتی در نظر گرفت. مطابق طبقه‌بندی مهندسی سنگ به روش RMR، Q-System و GSI عمده رسوبات در طبقه‌بندی ضعیف و خیلی ضعیف قرار دارند.

جدول ۱۱. نتایج طبقه‌بندی مهندسی سنگ به روش RMR، Q-System و GSI در واحدهای مورد مطالعه

Sample No.	Age	Q-system	GSI	RMR
28-S, 28-Sh	M	۲/۸۹	۴۵-۴۰	۵۳
25-S	M	۰/۳۶	۵۰-۴۵	۳۹
23-S	M	۰/۱۲	۲۰-۱۵	۲۸
20-M	OM	۰/۲۳	۲۰-۱۵	۳۲
18-S	OM	۰/۳	۳۰-۲۵	۴۳
17-S	OM	۱/۲۲	۴۰-۳۵	۴۷
14-S, 14-Sh	M	۰/۲۶	۲۵-۲۰	۳۱
13-M	PL	۰/۷۲	۴۰-۳۵	۵۳
9-M, 9-S	OM	۰/۶۷	۳۵-۳۰	۴۰
7-S, 7-M	OM	۰/۶۵	۳۵-۳۰	۴۰
5-S	OM	۲/۷۳	۷۰-۶۵	۵۶
1-S, 1-M	PL	۱/۰۵	۴۵-۴۰	۴۷
2-S, 2-M	PIQ	۰/۶	۱۵-۱۰	۳۰

مقایسه نتایج به‌دست‌آمده با مطالعات گذشته

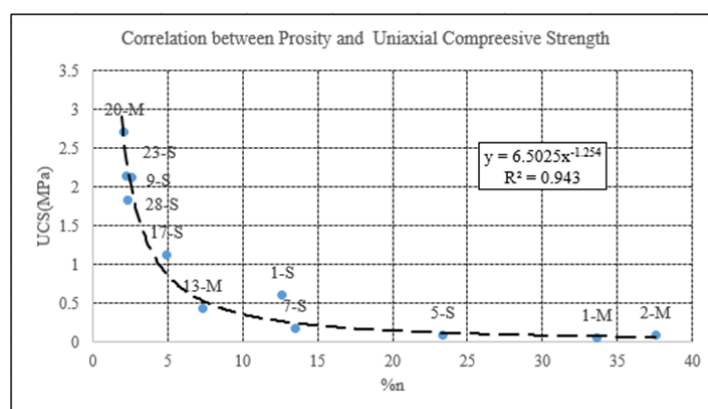
در سال‌های اخیر استفاده از رگرسیون در مطالعات زمین‌شناسی مهندسی برای برآورد پارامترهای مختلف به‌صورت گسترده مورد استفاده قرار گرفته است. در جدول ۱۲ نتایج برخی مطالعات گذشته توسط محققین مختلف ارائه شده است. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده از شکل‌های ۸، ۹ و ۱۰ ارائه شده، می‌توان طبقه‌بندی روابط ارائه شده

در این پژوهش را برای ارزیابی مقاومت فشاری تک‌محوری با استفاده از پارامتر تخلخل و وزن واحد حجم خشک سنگ آرژیلیتی استفاده کرد. همانطور که در شکل‌های ۸، ۹ و ۱۰ دیده می‌شود به ترتیب رابطه معناداری بین مقاومت فشاری تک‌محوری با پارامتر تخلخل، وزن واحد حجم خشک و درصد کربنات کلسیم در سنگ‌های آرژیلیتی وجود دارد.

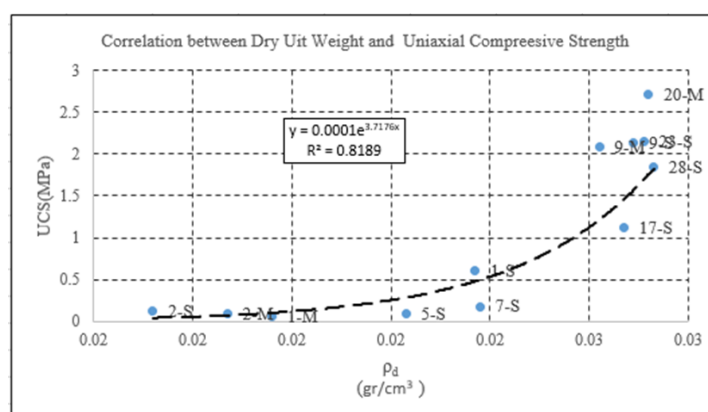
جدول ۱۲. روابط تجربی ارائه شده توسط محققین مختلف برای محاسبه مقاومت فشاری تک‌محوری با خصوصیات فیزیکی

ردیف	محققین	روابط مقاومت فشاری	(R ²)	نوع سنگ
۱	قیادی و همکاران (۲۰۲۰)	$UCS = 286.51\gamma_d - 712.47$	0.75	پریدوتیت
۲	قیادی و همکاران (۲۰۲۱)	$UCS = 163.09 \gamma_d - 352.8$	0.86	ماسه سنگ
۳	مرادی و همکاران (۲۰۲۱)	$UCS = -37.5 + 0.866 SH + 23.6\gamma_d$	0.73	مارن
۵	این مطالعه	$UCS = 6.7927n^{-1.254}$	0.94	آرژیلیت
		$UCS = 21.2Caco_3^{-2}$	0.89	
		$UCS = 0.0001e^{3.7176\rho_d}$	0.81	

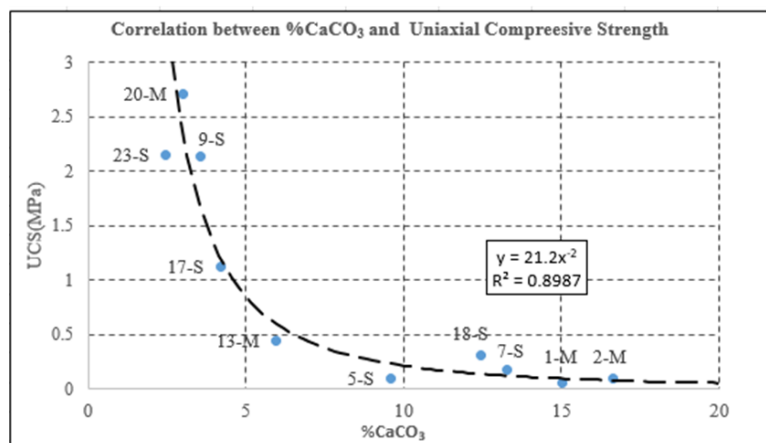
SH: سختی اشچمیت، γ_d و ρ_d چگالی خشک (گرم بر سانتی‌متر مکعب و کیلو نیوتن بر مترمکعب)، n: تخلخل (درصد)، UCS: مقاومت فشاری تک‌محوری (مگا پاسکال)



شکل ۸. همبستگی بین مقادیر مقاومت تراکمی تک‌محوره و درصد تخلخل



شکل ۹. همبستگی بین مقادیر مقاومت تراکمی تک‌محوره و وزن واحد حجم خشک



شکل ۱۰. همبستگی بین مقادیر مقاومت تراکمی تک‌محوره و درصد کربنات کلسیم

نتیجه‌گیری

نظرگیری سن نمونه‌ها نشان می‌دهد و نمونه‌هایی که در مکران ساحلی قرار دارند تخلخل بالا و خیلی بالا هستند، به‌گونه‌ای که ماسه‌سنگ‌های آهکی (هیبریدی) و گلسنگ‌های سیلتی که در نزدیکی ساحل قرار دارند دارای تخلخل خیلی بالا هستند. به دلیل حساسیت نمونه‌ها نسبت به آب و دشوار بودن تهیه نمونه برای آزمون‌های تعیین مقاومت تک‌محوره می‌توان از روش‌های غیرمستقیم همچون آزمون بار نقطه‌ای استفاده کرد. نتایج آزمون بار نقطه‌ای نشان می‌دهد که عمده رسوبات دارای مقاومت کمتر از ۱ مگا پاسکال می‌باشند و نمونه‌هایی که در مکران ساحلی قرار دارند دارای کمترین مقدار مقاومت هستند. به‌منظور طبقه‌بندی سنگ‌های منطقه از نتایج آزمون بار نقطه‌ای استفاده گردید که نشان می‌دهد در جهت حرکت به سمت جنوب و جوان شدن سن نمونه‌ها مقدار تخلخل افزایش‌یافته و روند مقاومت نیز کاهش می‌یابد. مقادیر مقاومت تراکمی تک‌محوره نشان می‌دهد که عمده رسوبات دارای مقاومت کمتر از ۲۰ مگا پاسکال می‌باشند که دارای همبستگی بالا ($R^2=0.95$) با مقدار تخلخل است.

منابع

احمدی، م.، نجاتی، ح (۱۳۸۹) تخمین ضریب بهره‌وری TBM بر اساس شاخص‌های سیستم طبقه‌بندی مهندسی سنگ و نیروی نفوذ ماشین، نشریه مهندسی معدن، دوره ۵، شماره ۱۰.

اجل‌لوئیان، ر.، داوودی، د (۱۳۸۲) رده‌بندی توده‌سنگ، روشی کاربردی در مهندسی عمران، ترجمه، انتشارات فن‌آوران.

احراری‌رودی، م.، موسوی‌حرمی، س. ر.، محبوبی، ا.، نجفی، م (۱۳۸۵) بازنگری سن و تفسیر تاریخیچه رسوب‌گذاری پادگانه‌های دریایی شرق چابهار. مجموعه مقالات دهمین

مکران جنوبی که حفاصل دو گسل تراستی مکران و قصر قند به سن نئوژن قرار دارد خود دارای ۴ زیر پهنه است که شامل: مکران- زیردان، زیردان-گتیوان، گتیوان- کهورکان و کهورکان- قصرقند است. مطابق طبقه‌بندی مهندسی سنگ به روش RMR، Q-System و GSI عمده توده‌سنگ در طبقه‌بندی ضعیف و خیلی ضعیف قرار دارند. مطالعه مقاطع نازک نشان‌دهنده دودسته رسوبات آواری درشت‌دانه (ماسه‌سنگ کربناته، سیلتستون) و رسوبات آواری ریزدانه (مارن، آهک‌ماسه‌ای و آهک‌سیلتی)، است. این رسوبات در محیطی کم‌عمق و کم انرژی تشکیل شده‌اند که بیشتر با کانی‌های تخریبی همراه هستند. توزیع دانه‌ها عمدتاً سیلتی و زاویه‌دار در یک زمینه عمدتاً کربناته با درصد کربنات کلسیم کمتر از ۱۵ درصد هستند. نتایج آنالیز دستگاهی (XRF) نمونه‌ها نشان می‌دهد که عمده اکسیدهای تشکیل‌دهنده CaO و Fe_2O_3 ، Al_2O_3 ، SiO_2 می‌باشد. مقدار درصد کربنات کلسیم در واحدهای رسوبی آواری درشت‌دانه و ریزدانه‌ای که به سن میوسن و میوپلیوسن هستند بین ۲ تا ۳۰ درصد و نمونه‌های آواری درشت‌دانه در مکران ساحلی و نزدیک دریا به سن پلیوسن و کواترنری هستند به دلیل وجود تشکیل کلسیت اسپارایتی مقدار آن بین ۷۰ تا ۸۰ درصد می‌رسد. این مقدار درصد کربنات کلسیم برای نمونه‌های ریزدانه به‌طور متوسط ۱۵ درصد است. نتایج بررسی با پراش اشعه ایکس (XRD) نشان‌دهنده کانی‌شناسی عمدتاً سیلتی شامل: کوارتز، کلسیت، آلبیت، کلینوکلر، مسکویت و دولومیت می‌باشد. نتایج آزمون‌های فیزیکی نشان می‌دهد تخلخل بیش‌ترین مقدار همبستگی را با تغییر در زیر پهنه‌ها با در

- press, 19(5): 393-405.
- Bieniawski, Z. T (1973) Engineering classification of jointed rock masses: Civil Engineering: *Siviele Ingenieurswese*, (12): 335-343.
- Bieniawski, Z. T (1989) Engineering Rock Mass Classifications: Wiley, New York, pp. 251.
- Barton, N (1987) Rock mass classification and tunnel reinforcement selection using the Q-system. In *Rock Classification systems for engineering purposes*: ASTM International, Cincinnati, Ohio.
- DIN (1987) Subsoil and ground water, Designation and description of soil and rock, Borehole log for boring without continuous taking of core samples in soil and rock: DIN 4022 Part 1, Deutsches Institut für Normung e.V., Berlin (in German).
- DIN (1990) Testing of natural stone, Crystallization test: DIN 52111, Deutsches Institut für Normung e.V., Berlin (in German).
- DIN (2004) Geotechnical investigation and testing, Identification and classification of rock: Part 1, Identification and description, ISO 14689-1:2003. DIN EN ISO 14689-1. Deutsches Institut für Normung e.V., Berlin (in German).
- Dolati, A (2010) Stratigraphy, structural geology and low-temperature thermochronology across the Makran accretionary wedge in Iran: Doctoral dissertation., ETH, Zurich.
- Eshraghi, S. A., Kholghi, M. H., Abdollahi, M. R., Sohaili, M., Samadian, M.R (1996) Geological map of Peersohrab., Scal 1:100000, Geological survey of iran.
- Edelbro, C (2004) Evaluation of rock mass strength., Lulea University of technology.
- Greensmith, J. T (1979) Petrology of sedimentary rocks., Georga Allen and uniuin.
- Ghiasi, V., Husaini, O. H., Rostami, J., Zainuddin, B., Ghiasi, S., Huat, B. K., Ratnasamy, M (2011) Geotechnical and geological studies of NWCT tunnel in Iran focusing on the stabilization analysis and design of support: A case study. *Scientific Research and Essays*, 6 (1): 79-97.
- 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*, 14 (1): 105-132.
- Ghobadi, M. H., Amiri, M., Aliani, F (2020) The study of relationship weathering, mineralogical and texture of peridotite rocks with engineering geological peroperties (Case study: peridotite Harsin city, Kermanshah province). *New Findings in Applied Geology*, 14(27): 43-54.
- 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 همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، ۱۳ شهریورماه ۱۳۸۵، دانشگاه تربیت مدرس تهران، ۹ص.
- آقابات، ع (۱۳۸۵) زمین‌شناسی ایران، انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۵۸۶ص.
- امیری، ص.، محمدی، ا (۱۳۹۲) برآورد پارامترهای ژئومکانیکی توده‌سنگ‌های واقع در محل ساختگاه سد خرسان ۳. هشتمین همایش انجمن زمین‌شناسی مهندسی و محیط زیست ایران، دانشگاه فردوسی مشهد.
- بشیرگنبدی، م.، ارومیه‌ای، ع.، نیکودل، م.، لشکری‌پور، غ. ر (۱۳۸۸) ارزیابی کار آبی رده‌بندی RMR در پیش‌بینی رفتار مهندسی سازند شمشک در حفريات زیرزمینی منطقه سیاه‌بیشه. مجموعه مقالات ششمین کنفرانس زمین‌شناسی مهندسی و محیط زیست ایران.
- دادخواه، ر.، اجل‌لوئیان، ر.، هاشمی اصفهانیان، م.، محمدی کوچانی، ج (۱۳۸۴) برآورد پارامترهای ژئومکانیکی توده سنگ‌های دربرگیرنده مسیر تونل‌های متروی اصفهان قطعه جنوبی (صفه آزادی)، مجموعه مقالات نهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، دانشگاه تربیت معلم تهران.
- رضایی، خ (۱۳۹۵) تأثیر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی رسوبات مارنی بر فرسایش و رسوب‌زادی آن‌ها با استفاده از دستگاه شبیه‌ساز باران در منطقه لاتشور پاکدشت. نشریه تحلیل فضائی مخاطرات محیطی، سال سوم، شماره ۳، ص ۴۰-۲۱.
- زارع، م.، ترابی، س. ر (۱۳۸۸) مطالعه آزمایشگاهی تأثیر مواد پرکننده بر مقاومت برشی ناپیوستگی‌های سنگ، هشتمین کنگره بین‌المللی مهندسی عمران، دانشگاه شیراز.
- Anon (1979) Classification of rocks and soils for engineering geological mapping: *Bulletin of the International Association of Engineering Geology*, 19: 364 – 371.
- ASTM D4644-87 (1996) ASTM standard test method for slake durability of shales and similar weak rocks: American Standard for Testing Materials.
- ASTM D 2216-80 (1989) Standard Method for Laboratory Determination of Water Moisture Content of Soil, Rock, and Soil-Aggregate Mixtures. Annual Book of ASTM Standards, Sec. 4, Vol. 04.08, Soil and Rock, American Society for Testing and Materials, Building Stones, ASTM, Philadelphia, 267-269.
- Aghanabati, A., Madavi, M. A., Sahandi, M. R., Samadian, M. R (1996) Geological map of Nikshahr., Scal 1:250000, Geological survey of iran.
- 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

- for Better Environment and Safety, India, 1552-1563.
- Tsiambaos, G (1991) Correlation of mineralogy and index properties with residual strength of Iraklion marls: *Eng. Geol.*, 30: 357-369.
- Verman, M., Singh, B., Viladkar, M. N (1977) Effect of Tunnel Depyh on Modulus of Deformation of Rock Mass, *J.L. Jethwa Rock Mech: Rock Engineering*, 30 (3): 121-127.
- Vernant, P., Nilfouroushan, F., Chery, J., Bayer, R., Djamour, Y., Masson, F., Tavakoli, F (2004) Deciphering oblique shortening of central Alborz in Iran using geodetic data. *Earth and Planetary Science Letters*, 223(1-2): 177-185.
- Hamedan). *New Findings in Applied Geology*, 15(29): 55-70.
- Hosseinitoudeshki, V., Vosoughikargazloo, A., Noori Gheidari, M. H., and Sarveram, H (2012) Influences of crushed fault zone in the stability of Zaker- Sorkhedizaj tunnel, NW Iran: *Middle-East Journal of Scientific Research*, 12 (10): 1426-1434.
- Hooshmand, A., Aminfar, M. H., Asghari, E., and Ahmadi, H (2012) Mechanical and physical characterization of Tabriz Marls, Iran: *Geotechnical and Geological Engineering*, 30(1): 219-232.
- ISRM Suggested Methods (1981) In: Brown, E.T. (Ed.), *Rock Characterization Testing and Monitoring*. Pergamon, Oxford.
- Jafarian, M. B., Abdoli, M., Samadian, M. R (2004) Geological map of Chabahar, Scal 1:100000, Geological survey of iran.
- Mehrotra, V. K (1992) Estimation of engineering parameters of rock mass: Ph. D, Thesis epartment of Civil Engineering., University of roorkee, India.
- Moradi, S., Amiri, M., Rahimi Shahid, M., Karrari, S (2021) The presentation of simple and multiple regression relationships to the evaluation of uniaxial compressive strength sedimentary and pyroclastic rocks with usage experimental of the Schmidt hammer. *New Findings in Applied Geology*, doi: 10.22084/nfag.2021.24761.1480
- Marinos and Hoek (2001) Estimating the geotechnical properties of heterogeneous rock masses such as flysch: *Bulletin of engineering geology and the environment*, 60: 85-92.
- Nickman, Marion., Spaun, George., Thuro, K (2006) Engineering geological classification of weak rocks: In *Proceedings of the 10th International IAEG Congress*. September.
- Pettinjohn, F. H., Potter, P. E., sierver, R (1973) *Sand and sand stone*. Springer- verlag. Newyork.
- Palmstroom, A., Singh, R (2001) The deformation modulus of masses comparisons between in-situ tests and indirect estimates: *Tunneling Underground Space Technol*, 16: 31-115.
- Quane, S. L., Russel, J. K (2003) Rock strength as a metric of welding intensity in pyroclastic deposits: *Eur J Mineral*, 15: 855-864.
- Robert, H (2002) An evaluation of slope stability classification: *ISRM EUROCK*, Sociedade Portuguesa de Geotecnia. Portugal, Madeira, Funchal, 3-32.
- Romana, M (2004) DMR (an adaptation of RMR), a new geomechanics classification for using dams' foundations: *Universidad politecnica de Valencia.*, Spain.
- Ramamurthy, T (2008) Penetration rate of TBMs: *World Tunnel Congress-Underground Facilities*

Evaluation of geomechanical properties of argillite rocks in the region of south Makran (Chabahar-Nikshahr railway)

V. Ahmadi Khounsaraki¹, A. Uromeihy^{*2}, S. Madanipour³ and M. Amiri⁴

1- Ph. D. student, Dept., of Geology, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

2- Prof., Dept., of Geology, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

3- Assist. Prof., Dept., of Geology, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

4- Ph. D. student, Dept., of Geology, Faculty of Science, Ferdowsi University, Mashhad, Iran

* uromeiea@modares.ac.ir

Received: 2022/4/4 Accepted: 2022/6/11

Abstract

Argillite rocks are among the weak rocks that cause problems in engineering projects due to their swelling, high cracking, low strength. The southern Makran structural zone is located in the southeastern part of Iran, between the two faults of Makran Trust and Qasr Ghand, and includes two sub-zones of coastal Makran and outer Makran. Most of the sediments are Quartz fragments (silt size) with carbonate cement containing sub-minerals of calcite and fossil fragments, indicating a shallow and low-energy marine environment of the Neogene age. The distribution of grains is mainly silty and angular in a Carbonate cement field with a calcium carbonate content of less than 15% and in coastal Makran due to the formation of sprite calcite between 70 and 80%. In order to determine the physical and mechanical properties of southern Makran argillaceous rocks along the Chabahar-Nikshahr railway axis in this research, porosity tests, plate load test (PLT), X-ray fluorescence test (XRF) and diffraction results X-ray (XRD) are conducted. The results of XRF samples show that the major constituent oxides are SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃ and CaO, and the results of XRD indicate mainly silty mineralogy including: Quartz, calcite, albite, Muscovite, Clinocllore and Dolomit. The Field study in each of the sub-zones was used for rock mass classification and sampling for laboratory tests to determine geotechnical properties. According to the rock mass classifications, most sediments are in poor and very poor classifications due to tectonic conditions and high weathering. Petrological studies and determination of physical properties show that sediments located in coastal Makran have more porosity and less cement due to the young sedimentation basin and are in the category of weak rocks based on point load strength ($I_{s50} < 2\text{MPa}$) according to Bieniawski classification. Indirect results of the uniaxial compaction test show that the sediments have a strength of less than 20 MPa, which has a high correlation with the amount of porosity ($R^2 = 0.95$). Also, the relationships between uniaxial compressive strength and density and Calcium carbonate are ($R^2 = 0.81$) and ($R^2 = 0.89$), respectively.

Keywords: Makran, Argillite, Weak rocks, Qasr Ghand fault, Physical and mechanical properties.