برآورد میزان سختی و توان سایش‌پذیری قطعات تشکیل‌دهنده کنگلومرایی در مسیر تونل انتقال آب گلاب ۲ توسط آزمون سایش سورشار (CAI)

شهرزاد نیکوبخت[۱]، محمد آذرافزا*[۱]، حسین معماریان[۲] و حمید مهرنهاد[۳]

۱- دانشجوی کارشناسی‌ارشد زمین‌شناسی مهندسی، دانشگاه یزد، یزد
۲- استاد دانشکده مهندسی معدن، دانشگاه تهران، تهران
۳- استادیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه یزد، یزد

نویسنده مسئول: *m.azarafza.geotech@gmail.com

دریافت: ۹۳/۱/۵ پذیرش: ۹۳/۷/۱۹

چکیده

امروزه برای پی بردن به خصوصیات ژئومکانیکی، آزمون‌های زیادی ابداع و به‌کار برده می‌شود، که طی استانداردهای مختلف معرفی شده‌اند. تاکنون چهار روش شناخته شده برای ارزیابی ساینده‌گی سنگ‌ها ارائه شده که از جمله آن‌ها می‌توان به روش شاخص ساینده‌گی سنگ (RAI)، اندیس سایش سورشار (CAI)، فاکتور سایش شیمازک (F-abrasivity) و اندیس سایش سرمته (BWI) اشاره کرد. آزمون سایش سورشار، آزمونی مفید برای پروژه‌های حفاری می‌باشد. اما کارکرد روی آن بسیار اندک بوده و هنوز نسبت به آزمون‌های دیگر ژئوتکنیک، مانند آزمون برش مستقیم، سه محوری و... ناشناخته‌تر می‌باشد. در این تحقیق، ضمن معرفی این آزمون، اقدام به اندازه‌گیری و برآورد شاخص سورشار و متعاقب آن برآورد سختی (مقاومت در برابر خراش یا برش)، برروی نمونه‌های کنگلومرایی برداشت شده از مسیر حفاری تونل انتقال آب گلاب ۲، از گمانه BH - II3 می‌گردد. برپایه نتایج به دست آمده از این آزمون، مقادیر CAI محاسبه شده برای قطعات ماسه‌سنگی برابر ۳/۴۸، برای قطعات آهکی برابر ۳/۵ و برای سیمان و ماتریکس نمونه‌ها ۱/۹۳ محاسبه گردیده است، که برپایه طبقه‌بندی معرفی شده سورشار در رده ساینده‌گی متوسط تا بسیار ساینده و هم‌چنین برپایه طبقه‌بندی میکالاکتوپلوس و همکاران در رده ساینده‌گی متوسط تا ساینده‌گی زیاد قرار می‌گیرد.

واژه‌های کلیدی: شاخص سایش سورشار، سختی، سایش‌پذیری، ژئومکانیک، تونل گلاب۲

۱- مقدمه

در عملیات حفاری، درک درست از میزان سرعت حفاری و استهلاک دستگاه‌های حفار، مستلزم شناخت توده‌سنگی است که حفاری در آن انجام می‌پذیرد، است. بر اساس نوع و جنس سنگ‌های میزبان تونل حفاری، سرعت و استهلاک دستگاه‌ها تغییر می‌کند. به‌طوری‌که هر چقدر مقاومت فشارشی و به‌خصوص مقاومت برشی سنگ‌ها بیش‌تر باشد، در نتیجه سرعت حفاری کم و میزان استهلاک تجهیزات بالا می‌رود. شناخت لیتولوژی و جنس سنگ‌ها، عامل تعیین‌کننده‌ای محسوب می‌گردد [۱]. امروزه برای پی بردن به خصوصیات ژئومکانیکی، آزمون‌های زیادی ابداع و به‌کار برده می‌شود، که طی استانداردهای مختلف معرفی و ارائه گشته‌اند. چهار روش شناخته شده برای ارزیابی ساینده‌گی سنگ‌ها ارائه شده است که از جمله آن‌ها می‌توان به روش شاخص ساینده‌گی سنگ[۱] (RAI)، اندیس سایش سورشار[۲] (CAI)، فاکتور سایش شیمازک[۳] (F-abrasivity) و اندیس سایش سرمته[۴] (BWI) اشاره کرد. آزمون سورشار، آزمونی مفید برای پروژه‌های حفاری و چالزنی می‌باشد. اما کارکرد روی این آزمون بسیار اندک بوده و هنوز نسبت به آزمون‌های دیگر ژئوتکنیک ناشناخته‌تر می‌باشد [۲]. به منظور ارزیابی هزینه‌ها و پیشرفت پروژه‌های حفاری و نیز تنظیم فهرست هزینه‌های پرداختی مربوط به چالزنی‌ها و حفاری‌ها، از معیارها و شاخص‌هایی به این منظور استفاده گردد. طبیعی است، که این معیارها و شاخص‌ها بایستی در ارتباط با نوع و جنس مواد مورد حفر و ابزار حفاری باشد. در بحث پیرامون تأثیر ویژگی‌های ماده و توده‌سنگ بر قابلیت حفاری، متخصصان بسیاری با استفاده از

[1] Rock Abrasivity Index
[2] Cerchar Abrasivity Index
[3] Shimazaki abrasivity Factor or F - abrasivity
[4] Bit Wear Index

پارامترهای مختلف رفتار سنگ‌ها را تشریح کرده‌اند. تاکنون متخصصان متعددی نقش و تأثیر پارامترهای فیزیکی، مکانیکی و ساختاری توده سنگ را تشریح کرده و رابطه هر یک از این پارامترها را با سرعت حفاری مورد مطالعه قرار داده‌اند [۶]. یکی از روش‌های موفق که به جرات می‌توان گفت با توافق و استقبال جهانی روبرو گشته است، طبقه‌بندی سنگ‌ها بر مبنای برخی از شاخص‌های حفاری آن‌ها می‌باشد. از جمله این شاخص‌ها می‌توان به سختی، سایش و قابلیت حفاری سنگ‌ها اشاره نمود [۳]. تحقیقات و آزمایش‌های زیادی صورت گرفته تا نقش هر کدام از شاخص‌های نام برده در طبقه‌بندی صحیح و کارآتر سنگ‌ها مشخص گردد. بر مبنای این تحقیقات و آزمایش‌ها، نقش دو شاخص سایش و قابلیت حفاری در طبقه‌بندی سنگ‌ها از ارزش علمی و عملی بالاتری برخوردار است. در این میان اندیس سایش سورشار توجه بسیاری از محققین و فعالان بخش صنعت حفاری را به خود جلب کرده، این امر به دلیل، مزایای ویژه‌ای است که نسبت به سایر روش‌ها دارد. آزمایش سایش سورشار به‌طور اتوماتیک اثر ترکیبی سختی و تماس کانی‌های ساینده، اندازه و شکل‌دانه‌ها، خصوصیات مواد چسبنده بین کانی‌ها و مقاومت فشاری سنگ را با آنچه که در واقعیت حفاری وجود دارد، اندازه‌گیری می‌نماید [۴]. بنابراین، پارامترهای فیزیکی و مکانیکی سنگ مشهود می‌باشد. علاوه بر این، سادگی انجام آزمایش و عملکرد آسان دستگاه نیز خود مزید علت گشته تا هرچه بیش‌تر این آزمایش مورد استقبال همگان قرار گیرد و مقبولیت جهانی برخوردار گردد.

۲- معرفی روش مطالعاتی

در این مطالعه اقدام به بررسی توان سایش‌پذیری و تعیین سختی در برابر خراشیدگی بر روی نمونه‌های کنگلومرایی برداشت شده از مسیر حفاری تونل انتقال آب گلاب ۲، از گمانه BH - II3 گردیده است. لذا، در این بخش روش آزمون، شرایط و فاکتورهای مدنظر و رابطه برآورد شده برخی کانی‌ها [۱] ارائه می‌گردد.

۲-۱ آزمایش سایش سورشار

آزمایش سایش سنگ یا CAI اولین بار از سوی انستیتوی تحقیقات معدنکاری زغال فرانسه و تحت عنوان Cerchar ارائه شد. در مقایسه با بسیاری دیگر از این روش‌ها، شاخص سایش سورشار با سابیده شدن نوک تیز یک پین فلزی در اثر ایجاد خراش با آن بر روی یک سطح سنگی تازه، به دست می‌آید. این پین فولادی، با قابل عملیات حرارتی و آلیاژ 4140H معرفی شده در استاندارد AISI آمریکا و یا (42 Cr-Mo 4) 1/7225 در استاندارد آلمان می‌باشد. نوک این پین فولادی با زاویه ۹۰ درجه به حداکثر تیزی رسیده است [۴]. در شکل (۱)، نمایی از دستگاه سورشار مشاهده می‌گردد. برای انجام این آزمون، در مدت ۱ ثانیه و تحت بار استاتیکی ۷ Kg، نوک تیز پین فولادی بر روی سطح سنگی ناهموار و تازه شکسته شده به طول ۱ سانتی‌متر کشیده می‌شود. قطر سطح ساییده شده روی نوک تیز فولادی با کمک میکروسکوپ معمولی دارای طبلک اندازه‌گیری و با درجه‌بندی ۰/۵ میلی‌متری، و بر حسب میلی‌متر قرائت می‌گردد و با ضرب در عدد ۱۰، برابر با عدد شاخص سایش سورشار بیان می‌گردد [۴ و ۸]. در شکل (۲) پین‌های فولادی به کار رفته در آزمون ارائه شده است.

بنابه تعریف انستیتوی فرانسه عدد شاخص سایش سورشار، برابر میانگین محاسبه شده برای ۵ خراش روی یک نمونه سنگی می‌باشد. در سنگ‌هایی با ساختارهای موازی، CAI نهایی نمونه از دو خراش در جهت ساخت‌های موازی و سه خراش در جهت عمود بر ساختار حاصل می‌گردد. از این شاخص در تونل‌سازی مکانیزه، استفاده‌های زیادی می‌شود. حمل و نقل آسان دستگاه سورشار نیز از دیگر مزایای آن می‌باشد. برای اندازه‌گیری نقاط ساییده شده فولادی، یک میکروسکوپ معمولی با بزرگ نمایی ۴۰× کافی می‌باشد. میکروسکوپ باید دارای طبلک اندازه‌گیری با درجه‌بندی ۰/۰۲۵۴ میلی‌متری (۰/۰۰۱ اینچ) و یا درجه‌بندی ۰/۰۵ میلی‌متری (۰/۰۰۲ اینچ) باشد. بزرگ‌ترین خال و نقطه مسطح که اندازه‌گیری می‌شود ۰/۶ میلی‌متر (۰/۰۲۴ اینچ) قطر و کوچک‌ترین، تقریباً ۰/۰۸ میلی‌متر (۰/۰۰۳ اینچ) قطر دارد (این محدوده معمولاً قابل اندازه‌گیری می‌باشد). بعد از اندازه‌گیری قطر ساییده شده، می‌توان پین‌های فولادی را برای استفاده مجدد تیز نمود [۴]. نکته مهم دیگری که نتایج معرف هنگامی به دست می‌آید که سطح مورد اندازه‌گیری افقی باشد. در صورت افقی نبودن نیروی زیادی لازم است تا سطح مورد نظر خراش ایجاد کند و

درنتیجه مقادیر سورشار بسیار بالایی به دست خواهد آمد. امروزه در دنیا دو نوع دستگاه سورشار مورد استفاده قرار می‌گیرد که از نظر طرز کار شبیه هم می‌باشند. ولی محل قرارگیری اجزاء آن تا حدودی متفاوت است [۱]. این آزمون برای دارا بودن اعتبار کافی باید شرایطی را دارا باشد که عبارتند از:

۱- اندازه دانه‌های سنگ باید کمتر از یک میلی‌متر باشند. اگر اندازه دانه از یک میلی‌متر بزرگ‌تر باشد، بیش‌تر از یک آزمون باید روی نمونه انجام گیرد تا یک CAI معتبر به دست آید.

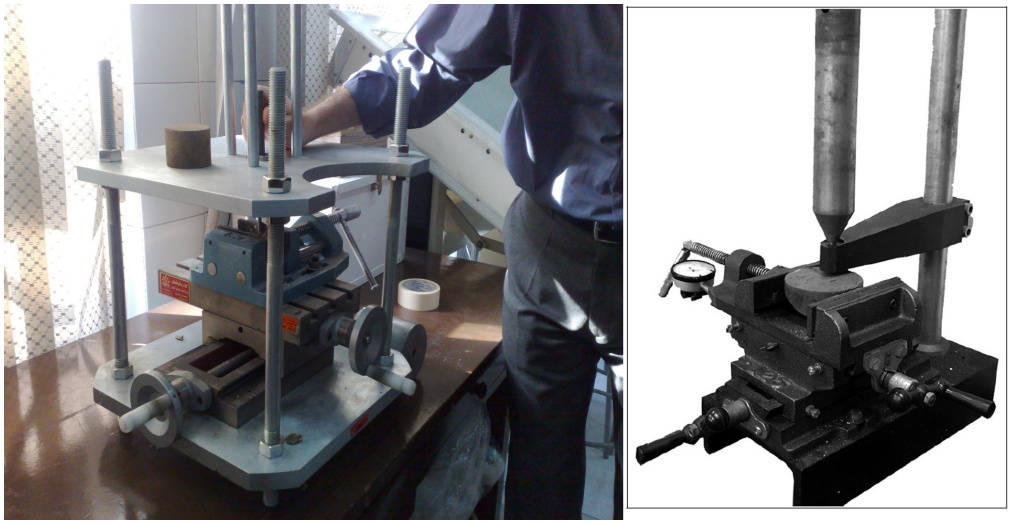
۲- مقاومت فشاری سنگ باید کمتر از فشاری باشد که تحت آن خراشیده می‌شود. برای مثال، اگر CAI برابر با ۶ است، مقاومت سنگ باید کمتر از ۳۵۰۰۰ PSI و اگر برابر با ۵ باشد، مقاومت سنگ باید کمتر از ۵۰۰۰۰ PSI باشد. اگر این شرایط برقرار نباشد، نوک فولادی تنها بر سنگ خواهد لغزید و خراش ایجاد نمی‌کند.

برخی از فاکتورهایی که بر CAI اثری ندارد، عبارتند از:

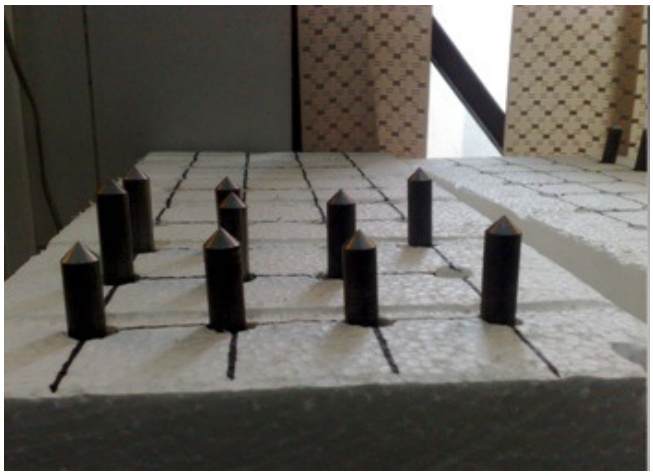
الف) اندازه دانه، به شرطی که زیر یک میلی‌متر باشد.

ب) رخ و دیگر ساختارهای بزرگ مقیاس

ج) شیستوزیته، با همان روش ۲ خراش افقی و ۳ خراش عمودی آزمون شوند [۲].



شکل ۱. نمایی از (الف) دستگاه سایش سورشار و (ب) دستگاه مورد استفاده در آزمون



شکل ۲. پین‌های فولادی مورد استفاده در آزمون

۲-۲ رابطه اندیس سابش سنگ در برخی کانی‌ها

آزمایش شاخص سابش سورشار (CAI) به طور جداگانه بر روی برخی از کانی‌های تشکیل دهنده سنگ‌ها انجام شده است. نمونه‌های مورد آزمایش، سنگ‌های تک کانی و بلورهای منفرد بزرگ بوده‌اند برای هر گروه کانی، یک محدوده سایندگی نتیجه می‌شود که با تغییر نمونه‌های آزمایش منطبق می‌باشد. پایین‌ترین مقدار شاخص سایش سورشار برای بلور منفرد و بالاترین آن از نمونه‌های زیر دانه‌های ریز به دست می‌آید. محدوده‌های CAI ارائه شده در جدول (۱) زیر از سنگ‌هایی که در هر مورد کانی اصلی آن سنگ مشخص شده، به دست آمده است. هم‌چنین جدول (۲)، طبقه‌بندی سنگ‌ها را بر اساس CAI نشان می‌دهد [۹].

جدول ۱. رابطه اندیس سابش سورشار و کانی‌های اصلی موجود در سنگ [۱]

کانی‌های اصلی موجود در سنگ	اندیس سابش سورشار
کوارتز، کوارتزیت و فلدسپات‌ها	۶ – ۶/۵ (۱۰/۱ mm)
آنورتوزیت‌ها	۲/۴ – ۸/۴ (۱۰/۱ mm)
اولیوین و دونیت‌ها	۴/۳ – ۶/۳ (۱۰/۱ mm)
پیروکسن ها و پیروکسنیت‌ها	۲/۳ – ۳ (۱۰/۱ mm)
آمفیبول‌ها و آمفیبولیت‌ها	۲/۳ – ۸/۲ (۱۰/۱ mm)
سرپانتین‌ها و سرپانتینیت‌ها	۴/۱ – ۸/۱ (۱۰/۱ mm)
آهک و دولومیت	۱ - ۲ (۱۰/۱ mm)
گل سنگ	... - ۵/۲ (۱۰/۱ mm)

جدول ۲. طبقه‌بندی سنگ‌ها را بر اساس CAI

رده‌بندی میکالاکتوپلوس و همکاران [۵]	رده‌بندی سرشار [۴]	مقدار CAI
سایندگی بسیار پایین	سایندگی پایین	۰/۳ – ۰/۵
سایندگی پایین	کمی ساینده	۰/۵ – ۱/۰
سایندگی متوسط	سایندگی متوسط تا ساینده	۱/۰ – ۲/۰
سایندگی بالا	بسیار سایندگی	۲/۰ – ۴/۰
شدیداً ساینده	شدیداً ساینده	۴/۰ – ۶/۰
-	کوارتزیک	۶/۰ – ۷/۰

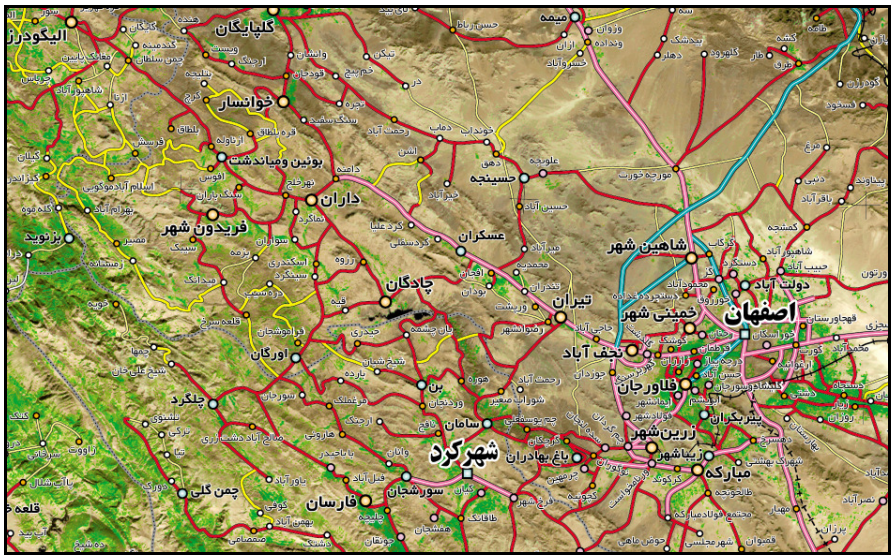
۳- مطالعه موردی

۳-۱ موقعیت و زمین‌شناسی تونل انتقال آب گلاب ۲

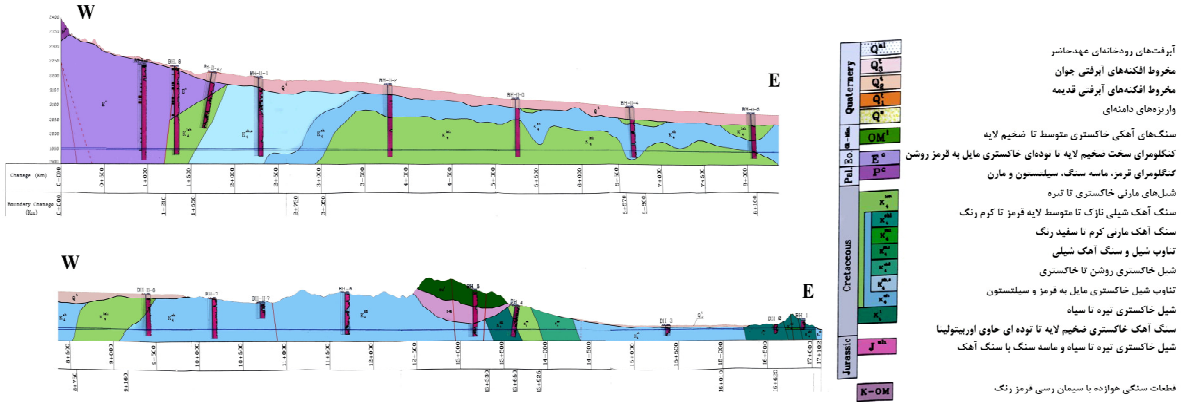
ناحیه مورد بررسی تونل انتقال آب گلاب ۲ در دشت کرون در استان اصفهان (۷۵ کیلومتری غرب شهر اصفهان) واقع شده است. این قطعه در ادامه تونل گلاب از محل تلمبه‌خانه زیرزمینی تونل گلاب به مختصات UTM، Y = 3624178N و X = 488630E شروع و پس از طی ۱۷ کیلومتر در زیر دشت کرون در ۱/۵ کیلومتری جنوب غرب روستای ورپشت به مختصات Y = 3621469N و X = 505516E به انتها می‌رسد. این تونل به منظور تامین بخشی از آب شرب اصفهان، وظیفه انتقال آب از انتهای قطعه اول تونل گلاب به دشت کرون را دارد. آب گلاب ۲ از انتهای تونل گلاب شروع شده و جهت تأمین بخشی از آب شرب اصفهان، وظیفه انتقال آب از انتهای تونل گلاب به دشت کرون را دارد و بخش ابتدایی طرح انتقال آب به اصفهان را تشکیل می‌دهد. تونل مزبور دارای طول ۱۷۰۲۳ متر و توده سنگ‌های مسیر تونل نیز عمدتاً از سنگ‌های شیلی، آهک‌های شیلی و مارنی و شیل‌های آهکی سازند خمیران می‌باشد. در قسمتی از مسیر تونل، پهنه‌ای خرد شده همراه با یک گسل وجود دارد که توسط تونل قطع می‌گردد. مقطع تونل با توجه به نیازهای طرح به شکل دایره با عرض و ارتفاع ۴/۶ متر طراحی شده است. موقعیت جغرافیایی نقطه ورودی تونل به مختصات "۴۳ '۵۲ °۵۰ طول‌شرقی و "۲۵ '۴۵ °۳۲ عرض شمالی می‌باشد و موقعیت جغرافیایی نقطه خروجی تونل به مختصات "۲۸ '۰۳ °۵۱ طول شرقی و "۵۸'۴۳ °۳۲ عرض شمالی می‌باشد. در شکل (۳) موقعیت جغرافیایی محدوده مورد مطالعه نشان داده شده است [۲]. محدوده مورد بررسی در زون سنندج ـ سیرجان واقع شده است و روند

عمومی ساختارها مطابق با روند زاگرس، NW-SE بوده و از نظر چینه‌شناسی به دو بلوک قابل تقسیم است. مرز تقسیم‌کننده این دو بلوک گسل آبریزان ـ کماسون می‌باشد. بخش‌های غربی این گسل تحت عنوان بلوک دگرگونه و بخش شرقی به عنوان بلوک کرون نام‌گذاری شده است. بلوک دگرگونه در زون سنندج ـ سیرجان واقع شده و کهن‌ترین سنگ‌های آن از نوع دگرگونی می‌باشد که متعلق به پالئوزوئیک می‌باشند.

عمده مسیر تونل انتقال آب گلاب۲ در زیر دشت آبرفتی کرون و در میان سنگ کف دشت که شامل واحدهای شیلی سازند خمیران می‌باشد، حفر شده است. سازند خمیران از لایه‌های شیلی و شیلی آهکی با میان لایه‌های آهکی و آهک مارنی تشکیل شده است. در گستره تونل گلاب ۲، سنگ‌های ژوراسیک، کرتاسه و پالئوژن گسترش وسیعی دارند. با توجه به مقطع زمین‌شناسی ارائه شده در شکل (۴) از کیلومتر ۱/۵ تا ۳/۶ مسیر تونل تناوبی از سیلتستون خاکستری و شیل، از این کیلومتر به بعد تا حدود ۲۰۰ متری از شیل سیاه با میان لایه‌های ماسه‌سنگ و سیلتستون تشکیل گردیده است. کیلومتر ۳/۶ تا ۴/۱ از مسیر تونل از شیل آهکی خاکستری و هم‌چنین از کیلومتر ۵ تا ۵/۵، ۶ تا ۸/۱ و ۱۳/۳ تا ۱۳/۶ نیز ترکیب سنگ‌های مسیر تونل به همین ترکیب می‌باشد. وجود خردشدگی‌های شدید در مسیر تونل شاهدی بر فعالیت‌های تکتونیکی تعدادی گسل فرعی علاوه بر گسل آبریزان-کماسون، در بخش‌هایی از مسیر تونل می‌باشد که محل قرارگیری این گسل‌ها در کیلومترهای ۱۱،۱۳،۱۴ و ۱۷ تونل قابل گزارش است. با توجه به راستای چین خوردگی‌ها و گسل‌های منطقه و هم‌چنین نحوه عملکرد آن‌ها، راستای نیروی وارده و کوتاه‌شدگی در منطقه در جهت جنوب‌غربی- شمال شرقی می‌باشد [۲].



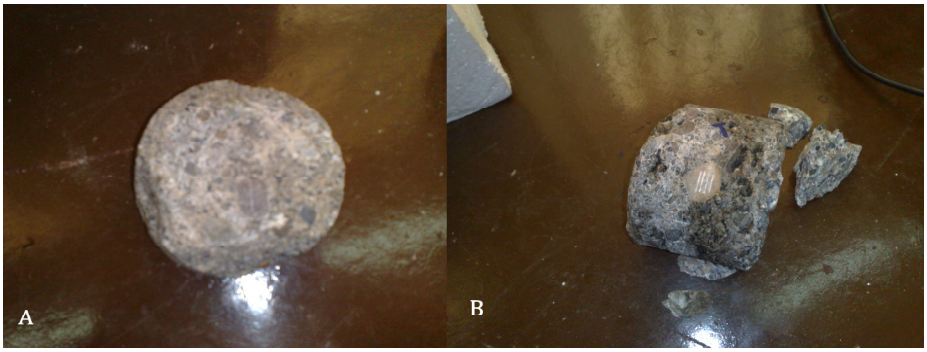
شکل ۳. موقعیت جغرافیایی محدوده مورد مطالعه [۲]



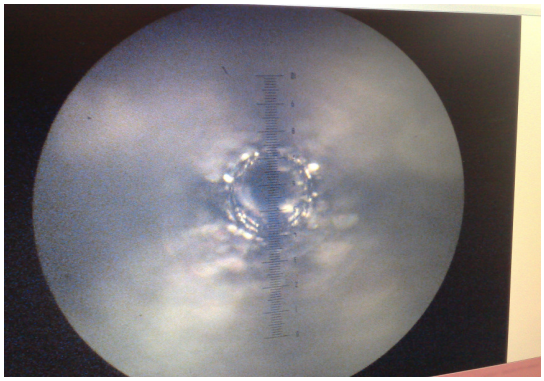
شکل ۴. مقطع زمین‌شناسی تونل انتقال آب گلاب۲ [۲]

۳-۲- نتایج حاصل از آزمون سورشار

در طول مسیر حفر تونل برای آشنایی با شرایط زمین‌شناسی مهندسی و ژئوتکنیکی ساختگاه تونل اقدام به حفر گمانه‌های مطالعاتی گردید. همان‌طور که بیان شد بخش عمده‌ای از مسیر تونل گلاب ۲ شیلی است، اما در بخش کنگلومرایی مسیر تونل مشکلاتی مبتنی بر شرایط لیتولوژیک، پایین بودن مقاومت برشی و تغییرات ساختاری برای سرمته‌های حفار گمانه‌ها ایجاد گردید. لذا برای اینکه بتوان رفتار دستگاه حفار تونل را در برخورد با توده کنگلومرایی بهتر شناخت و تمهیدات مناسبی برای آن اتخاذ نمود انجام آزمون سایش سورشار در دستور کار قرار گرفت. بر همین اساس نمونه‌هایی از توده کنگلومرایی اخذ گردید. آزمون سایش سورشار بر روی ۱۳ نمونه سنگی، از جنس کنگلومرا بوده و آزمایش بر روی سیمان، قطعات ماسه‌سنگی و قطعات آهکی نمونه‌ها انجام گردیده، ارائه شده است. در شکل (۵) نمونه‌های مورد آزمایش و در شکل (۶) میزان سابش یکی از پین‌های مورد استفاده در آزمایش نشان داده شده است. نتایج آزمون سورشار بر روی نمونه‌های مطالعاتی در جدول (۳) منعکس شده است. در آزمایش‌های که اختلاف میان قرائت‌های مربوط به یک نمونه زیاد است، این اختلاف مربوط به تنوع سنگ‌شناسی و کانی‌شناسی در بخش‌های مختلف سنگ و انجام آزمایش در جهات مختلف می‌باشد. بر اساس آزمون سایش بر روی نمونه‌های کنگلومرایی در شکل (۷) منحنی اندکس سایش سورشار برای پین‌های مختلف ارائه شده است. بر اساس اندیس سورشار اندازه‌گیری شده برای نمونه‌های ماسه‌سنگ‌ها و آهک و ماتریکس سنگی برای سنگ‌های میزبان تونل در توده کنگلومرایی محدوده‌ای از شاخص سایش‌پذیری به صورت زیر می‌توان بیان نمود. (شکل ۸).



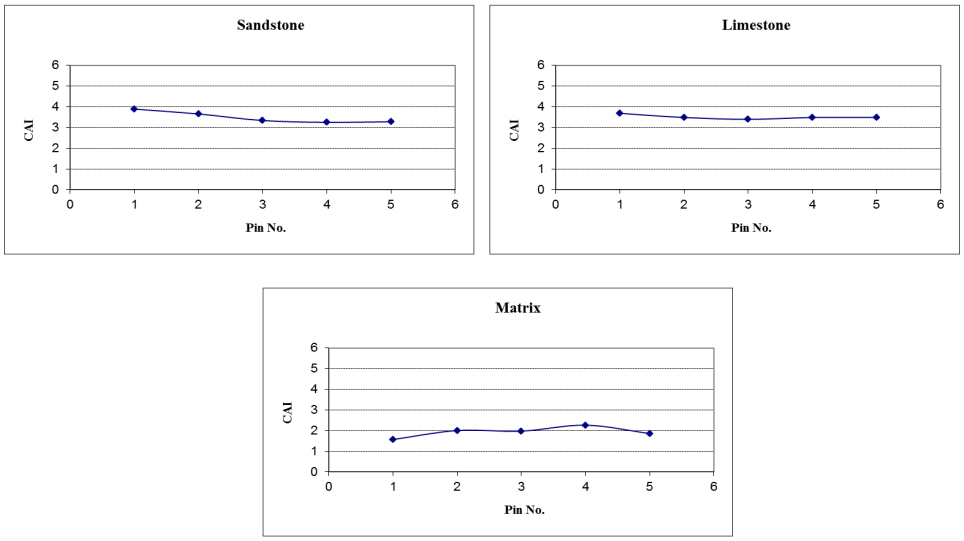
شکل ۵. نمونه مورد آزمایش، (الف) نمونه قبل از آزمون (ب) نمونه بعد از آزمون



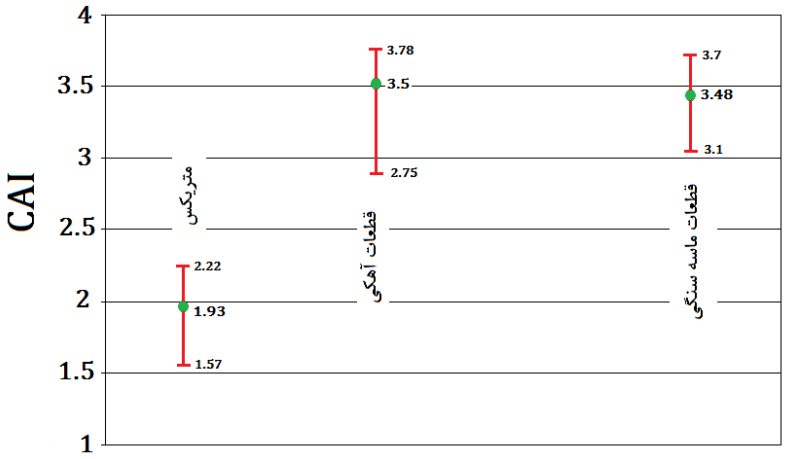
شکل ۶. میزان سابش اندازه‌گیری شده برای یکی از پین‌های بکار برده شده در آزمایش

جدول ۳. نتایج آزمون سورشار روی نمونه‌های کنگلومرایی مورد بررسی (میانگین کل آزمون‌ها)

ردیف	پین۱		پین۲		پین۳		پین۴		پین۵		میانگین	CAI
	قطر۱	قطر۲	قطر۱	قطر۲	قطر۱	قطر۲	قطر۱	قطر۲	قطر۱	قطر۲		
قطعات ماسه سنگی	۵۸	۶۸	۵۷	۵۸	۵۸	۵۴	۵۴	۵۹	۶۶	۶۸	۶۰/۰۰	**۳/۴۸**
قطعات آهکی	۶۲	۶۵	۵۸	۶۲	۵۹	۵۸	۵۸	۶۲	۶۱	۵۹	۶۰/۴	**۳/۵**
سیمان یا متریکس	۲۸	۲۶	۳۵	۳۴	۳۴	۳۴	۴۱	۳۷	۳۳	۳۱	۳۳/۳۳	**۱/۹۳**



شکل ۷. شاخص سایش سورشار برای پین‌های مختلف



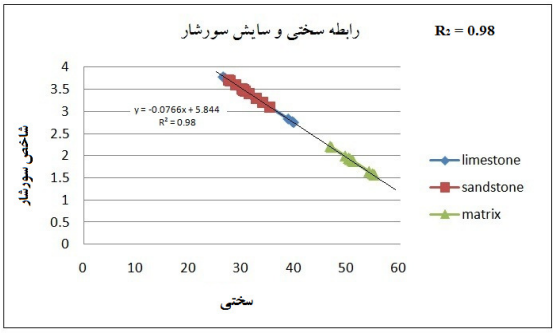
شکل ۸. دامنه تغییرات و میانگین مقادیر اندیس سایش سورشار در نمونه کنگلومرایی مورد مطالعه

۳-۳ رابطه شاخص سورشار و سختی یا مقاومت در برابر حفاری

آزمون سایش سورشار به‌طور اتوماتیک اثر ترکیبی سختی و تماس کانی‌های ساینده، اندازه و شکل دانه‌ها، خصوصیات سیمان چسبنده بین کانی‌ها و مقاومت فشاری سنگ را با آنچه که در واقعیت حفاری وجود دارد اندازه‌گیری می‌کند. شاخص سورشار به طور گسترده و به صورت مستقیم برای طراحی و برنامه‌ریزی سیستم حفاری به کار برده می‌شود. از طرفی روابط زیادی برای استخراج هریک از المان‌های اساسی حفاری مانند، سختی (مقاومت در برابر حفر شدن)، ارائه گشته و مورد بحث می‌باشد. ایجاد رابطه صحیح بین سایش‌پذیری و مقاومت سنگ‌های مبزبان تونل در برابر حفر شدن، می‌تواند نیاز به بسیاری از هزینه‌های حفاری را کاهش داده و راندمان کار را، که با انتخاب و طراحی سیستم حفاری مناسب بر اساس سختی تعیین می‌گردد، افزایش دهد [۱۱]. همان‌طور که بیان شد، روابط تجربی زیادی برای ارتباط بین شاخص سایش‌پذیری و سختی ارائه شده است که هر کدام دارای مزایا و محدودیت‌هایی هستند. بهترین رابطه تجربی که نسبت به سایر روابط دارای سادگی و سازگاری بیش‌تری نسبت به سایر روابط می‌باشد و نتایج خوبی را در طراحی‌ها در پی داشته در رابطه (۱) بیان شده است [۹].

$$CAI = -0.0766\ HRC + 5.80 \qquad \text{رابطه ۱}$$

در رابطه فوق، CAI برابر شاخص سورشار و HRC برابر سختی نمونه در برابر خراشیده شدن معرفی می‌گردد. در شکل (۹) سختی به دست آمده از نتایج آزمون سایش سورشار ارائه گردیده است.



شکل ۹. سختی بدست آمده از نتایج آزمون سایش سورشار

۴- نتیجه‌گیری

باتوجه به نتایج حاصل از آزمون سایش سورشار بر روی نمونه‌های کنگلومرایی اخذ شده از توده سنگ‌های بدنه تونل انتقال آب گلاب ۲ موارد زیر قابل ذکر می‌باشد:

۱- آزمون سایش سورشار به طور اتوماتیک اثر ترکیبی سختی و تماس کانی‌های ساینده، اندازه و شکل دانه‌ها، خصوصیات سیمان چسبنده بین کانی‌ها و مقاومت فشاری سنگ را با آنچه که در واقعیت حفاری وجود دارد اندازه‌گیری می‌کند.

۲- مقادیر CAI محاسبه شده برای قطعات ماسه‌سنگی برابر ۳/۴۸، برای قطعات آهکی برابر ۳/۵ و برای سیمان ماتریکس نمونه‌ها ۱/۹۳ محاسبه گردیده است، که برپایه طبقه‌بندی معرفی شده سورشار در رده ساینده‌گی متوسط تا بسیار ساینده و هم‌چنین بر پایه طبقه‌بندی میکالاکتوپلوس و همکاران در رده ساینده‌گی متوسط تا ساینده‌گی بالا قرار می‌گیرد.

۳- بالاترین مقدار عدد شاخص سایش سورشار مربوط به قطعات آهکی و کمترین مقدار این عدد مربوط به ماتریکس یا سیمان نمونه‌ها می‌باشد. بر این اساس می‌توان بیان نمود که بالاترین میزان مقاومت در برابر سایش مربوط به قطعات آهکی و کمترین میزان مقاومت مربوط به ماتریکس یا سیمان نمونه‌ها است.

۴- برپایه نتایج حاصل از دامنه تغییرات سایش‌پذیری، دامنه تغییرات قطعات آهکی با بازه ۱/۰۳، بیش‌ترین مقدار و کمترین دامنه تغییرات قطعات ماسه‌سنگی با بازه ۰/۶ می‌باشد.

۵- با توجه به رابطه سختی و سایش سورشار (رابطه تجربی ارائه شده توسط استندفورد و هاگان) بیش‌ترین میزان سختی مربوط به قطعات آهکی و کمترین مقدار این عدد مربوط به ماتریکس یا سیمان نمونه‌ها می‌باشد، که موید رابطه مستقیم بین سختی و سایش سورشار است.

۵- تقدیر و تشکر

در پایان از همکاری و مساعدت مدیریت محترم شرکت آزمونه فولاد، تشکر می‌شود.

منابع

[۱] علمی اسدزاده، ق.، و معماریان، ح (۱۳۸۵) "بررسی ارتباط بین سایش و بافت سنگ در نمونه‌هایی از سنگ‌های ساختمانی ایران"، نشریه دانشکده فنی، جلد ۴۰ (۱): ۱-۵.

[۲] نیکوبخت، ش (۱۳۹۲) "بررسی پارامترهای توده سنگ‌های میزبان تونل انتقال آب گلاب ۲ به منظور برآورد بار سنگ و طراحی سیستم نگهدارنده"، پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه یزد، ص ۷۸-۸۳.

[3] Al-Ameen, S. & Waller, M (1994) "The influence of rock strength and abrasive mineral content on the Cerchar Abrasiveness Index", Journal in Engineering Geology, Vol. 36 (3-4): 293-301.

[4] CERCHAR (1986) "The CERCHAR abrasiveness index", Centre d'Etudes et Recherches de Charbonnages de France, Verneuil, S (ed).

[5] Michalakopoulos, T. Anagnostou, V. Bassanou, M. & Panagiotou, G (2006) "The influence of steel styli hardness on the Cerchar abrasiveness index value", in International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, Vol. 43 (2): 321-327.

[6] Plinninger, R. Kasling, H. & Thuro, K (2004) "Wear prediction in hardrock excavation using the Cerchar abrasiveness index (CAI) ", in Proceedings EUROCK 2004 & 53rd Geomechanics Colloquium.

[7] Roxborough, F F (1987) "The role of some basic rock properties in assessing cuttability", in

Proc. Tunnels: Wholly Engineered Structures. April (IEAust: Sydney).

[8] Suana, M. and Peters, Tj., 1982, "The Cerchar Abrasivity Index and its relation to rock mineralogy and petrography", Journal in Rock Mechanics,Vol. 15 (1:)1-7.

[9] Stanford J. & Hagan, P., 2009, "An Assessment of the Impact of Stylus Metallurgy on Cerchar Abrasiveness Index", Underground Coal Operators' Conference,Vol. (1): 348-355.

[10] Verhoef, P (1997) "Wear of Rock Cutting Tools: mplications for the site investigation of rock dredging projects", (A A Balkema: Rotterdam).

[11] West, G (1989) "Technical Note – rock abrasiveness testing for tunnelling". International Journal of Rock Mechanics, Mining Sciences and Geomechanics Abstracts, Vol. 26 (2): 151-160.