

## بررسی رابطه ی آماری بین شاخص های سایش سرشار (CAI) و درصد کوارتز معادل (EQC) برای نمونه هایی از سنگ های ایران

مسیح مرادی زاده<sup>1\*</sup>، محمد غفوری<sup>2</sup>، غلامرضا لشکری پور<sup>3</sup>، صادق طریق ازلی<sup>4</sup>

1- دانشجوی کارشناسی ارشد زمین شناسی مهندسی دانشگاه فردوسی مشهد، ایران

2 و 3- استاد گروه زمین شناسی مهندسی دانشگاه فردوسی مشهد، ایران

4- دانشجوی دکتری زمین شناسی مهندسی دانشگاه فردوسی مشهد، ایران

[Masih\\_Mor@Yahoo.Com](mailto:Masih_Mor@Yahoo.Com)

### چکیده

اگر چه فن تونلبری با ماشین های TBM در سال های اخیر رشد قابل توجهی داشته ولی ارزیابی دقیق مخاطرات زمین شناسی مؤثر در روند حفاری همانند پیشرفت هایی که در تکنولوژی ساخت ماشین های مورد استفاده در حفاری مکانیزه رخ داده، توسعه نیافته اند. رفتار ساییده ی مصالح تشکیل دهنده ی زمین یکی از عواملی است که بر روی هزینه و برنامه ی زمان بندی پروژه تونلبری مؤثر می باشد. سایش سنگ ها به پارامترهای زمین شناسی گوناگون از جمله پتروگرافی سازند که شامل ساختمان، بافت و محتوای کانی ها با سختی بالا (مانند کوارتز) می باشد بستگی دارد.

هدف از این مقاله بررسی رابطه ی آماری میان مقادیر شاخص سایش سرشار (CAI) با مقادیر کوارتز معادل (EQC) در سنگ های مختلف آذرین، دگرگونی و رسوبی ایران می باشد. برای این منظور ۳۶ نمونه از سازندهای مختلف زمین شناسی ایران جمع آوری گردیده و آزمایش سرشار و تحلیل پتروگرافی مقاطع نازک (Thin Section) بر روی آنها انجام شده است. نتایج حاصل از تحلیل آماری بر روی آزمون های مذکور نشان می دهد که رابطه ی معناداری (با ضریب فیشر F بالا) بین درصد کوارتز معادل و عدد CAI وجود دارد. بنابراین با تحلیل پتروگرافی مقاطع نازک سنگها و برآورد درصد کوارتز معادل، می توان مقدار CAI را برای انواع سنگ ها رسوبی آواری، دگرگونی و آذرین و به جزء سنگهای آهکی با دقت قابل قبولی تخمین زد.

**کلمات کلیدی:** حفاری مکانیزه، سایش CAI، کوارتز معادل، آزمون سرشار، پتروگرافی سنگها

### 1- مقدمه

اهمیت سایندگی در پروژه های تونلبری مکانیزه اغلب به عنوان یک فاکتور هزینه بر با اهمیت توصیف می گردد. این عامل می تواند سبب به تاخیر انداختن روند حفاری شده و در نهایت زمان مورد نیاز برای اتمام پروژه را به طور قابل توجهی افزایش دهد. سایندگی معمولاً به عنوان ویژگی و یا پتانسیل یک سنگ تعریف می گردد که باعث سایش و خوردگی ابزار و قطعات ماشین های حفار می گردد. روش های مختلفی برای برآورد سایندگی سنگها وجود دارد. یکی از مهم ترین و مشهورترین این روش ها، آزمون سرشار (cerchar) می باشد. ضریب سایش سرشار CAI پارامتری است که خروجی این آزمون است (هاشم نژاد ه. و همکاران، ۱۳۹۱)

ضریب سایش سرشار (CAI) به عوامل متعددی از جمله پترولوژی و پتروگرافی سنگها و خصوصیات مکانیکی آنها بستگی دارد. در این مقاله به بررسی رابطه میان ضریب سایش سرشار (CAI) و درصد کوارتز معادل (EQC) پرداخته شده است. کارهای نسبتاً زیادی در خصوص رابطه ی میان کانی شناسی و خصوصیات مکانیکی سنگها و ضریب سایش سرشار انجام شده است که از

جمله آنها می توان به تحقیقاتی اشاره کرد که توسط Plinninger and Peters and Suana(1982) و Restner(2008) (2007) et al و Yaral در خصوص استفاده از مقدار کوآرتز معادل (EQC) برای پیش بینی مقدار CAI انجام شده است. علاوه بر آنها (1982) Suana and Peters تایید کردند که در سنگ های رسوبی مقدار اندازه ی دانه ی کوآرتز و خصوصیات ماتریکسی آنها در مقدار CAI موثر است. هم چنین در تحقیق دیگری ثابت شد که سایش به درجه سیمان شدگی مواد در سنگهای رسوبی بستگی دارد. (Mcfeact-Smith., 1977). رابطه ی میان پارامترهای مقاومتی سنگ با CAI نیز توسط (1994) Al-Ameen and Wallner و (2011) Deliormanl مورد بررسی قرار گرفته است. با توجه به اینکه مقدار کوآرتز معادل (EQC) یکی از مهم ترین پارامترهایی است که در گذشته توسط محققین مختلف مورد توجه قرار گرفته است لذا در این مقاله موضوع تحقیق می باشد. در این پژوهش ۳۶ نمونه مختلف از سازندهای گوناگون زمین شناسی ایران جمع آوری گردیده و تحلیل پتروگرافی مقاطع نازک و آزمایش سرشار بر روی آنها انجام شده است. نتایج حاصل از آنها توسط آزمون آماری فیشر مورد بررسی قرار گرفته است که جزئیات آن در ادامه تشریح شده است.

## 2- آزمون های آزمایشگاهی

جهت بررسی رابطه میان پارامترهای CAI و EQC یک سری اطلاعات حاصل از تحلیل پتروگرافی مقاطع نازک در این تحقیق گردآوری شد که در آن به ازای هر آزمایش سرشار یک تحلیل پتروگرافی از آن سنگ وجود دارد. در این سری اطلاعات نتایج تعداد ۳۶ آزمایش سرشار و تحلیل پتروگرافی (در محیط آزمایشگاهی براساس استاندارد ASTM برای آزمایش سرشار و روش Rosiwal برای تحلیل پتروگرافی انجام شده است) وجود دارند.

### 1-2- آزمون سرشار و برآورد مقدار CAI

آزمایش سرشار علاوه بر اینکه در استاندارد فرانسوی (AFNOR(NFP904-430-1) توضیح داده شده است، در استاندارد ASTM(D7625-10) به نحوه انجام آزمایش، ساخت سوزن و اندازه گیری مقدار CAI اشاره شده است و مشکلات آن تا حدودی رفع گردیده است ولی در هیچ یک از این دو استاندارد در نحوه انجام درباره جزئیات نحوه انجام آن توضیحی نداده است. مردای زاده و همکاران (۱۳۹۱) نحوه ی انجام کامل این آزمایش به همراه جزئیات آن را توضیح داده است این آزمایش شامل یک سوزن فولادی با کیفیت و هندسه ی مشخص می باشد که روی نمونه ی سنگی زبر و خشن در زیر بار استاتیکی ۷۰ نیوتنی با سرعت  $\frac{777.777}{5}$  در طول ۱۰ میلی متر از سنگ خش ایجاد می کند. (مردای زاده م. و همکاران، ۱۳۹۱) شکل شماره ۱ مراحل انجام آزمایش را نشان می دهد.



شکل ۱- مراحل انجام آزمون سرشار: (۱- نمونه برداری در بازدی د می دانی، ۲- مغزه گیری از بلوک های سنگی، ۳- آماده سازی نمونه ها و سوزن ها و ۴- انجام آزمون سرشار)

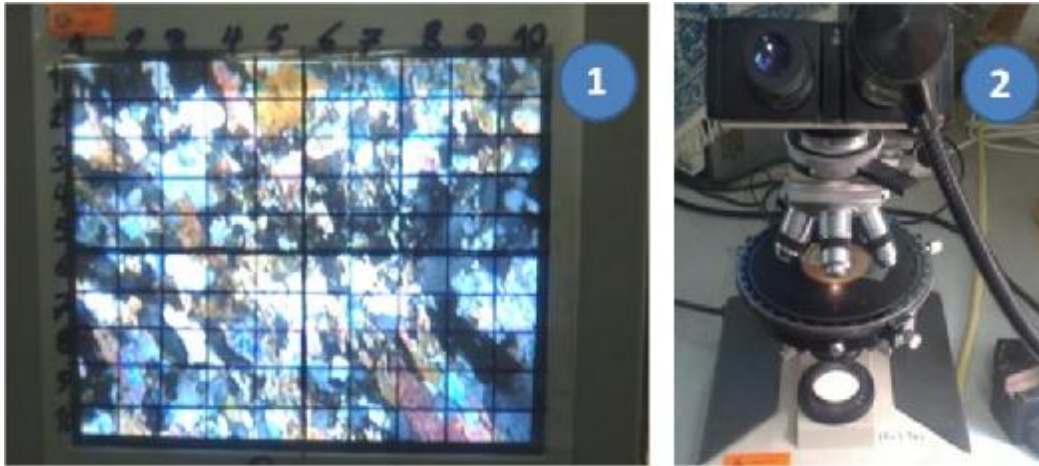
## 2-2- تحلیل پتروگرافی و اندازه گیری EQC

تحلیل پتروگرافی به دو روش Rosiwal و Modal با استفاده از میکروسکوپ و Mechanical Stage انجام شده است. (Chayes F., 1949) (Esper S , et al., 1935) شکل شماره ۲ دستگاه Mechanical Stage جهت انجام پتروگرافی و شکل شماره ۳ مراحل تحلیل پتروگرافی را نشان می دهد. مقدار EQC نیز از فرمول ذیل محاسبه می گردد.

$$EQC = \sum_{i=1}^n A_i \cdot R_i (\%)$$

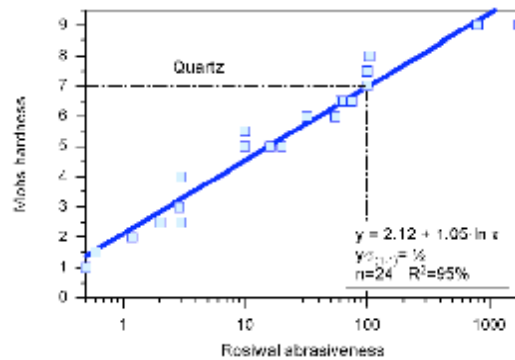


شکل ۲- مکانیکال استیج (mechanical stage)



شکل 3- آزمون پتروگرافی در مقطع نازک: (1- میکروسکوپ مجهز به دوربین، 1- تجزیه و تحلیل پتروگرافی به وسیله میکروسکوپ و مائیتور)

بدین صورت که مقدار کوارتز و سایر کانی های دیگر توسط مطالعات میکروسکوپی بدست آمده و سپس مقدار یک کانی  $A_i$  بر حسب درصد کل نمونه ی سنگ در  $R_i$  عدد سایش روزیوال (rosiwal) کانی بر حسب درصد ضرب شده و سپس با یکدیگر جمع می شوند و  $N$  هم تعداد کل کانی های موجود در سنگ می باشد (Thuro K., 1997). با استفاده از شکل شماره 4 می-توان عدد سایش روزیوال کانی های مختلف را بوسیله سختی موس (Mohs) آنها بدست آورد.



شکل 4- اندازه گیری سختی روزیوال به وسیله سختی موس

نتایج آزمون های آزمایشگاهی که شامل شماره و محل نمونه، نام سنگ، کانی شناسی، مقدار کوارتز معادل و  $CAI$  در جداول 1 تا 5 برای انواع سنگ های مختلف ارائه شده است. در جدول 1 نتایج آزمون های پتروگرافی و سرشار بر روی 8 نمونه سنگ دگرگونی آورده شده است. آزمون های انجام شده بر روی سنگ های آهک (8 نمونه) و سنگ های رسوبی آواری (10 نمونه) که عمدتاً ماسه سنگ هستند به ترتیب در جداول 2 و 3 ارائه شده اند. در جدول های 4 و 5 نتایج آزمون آزمایشگاهی بر روی 6 نمونه سنگ آذرین درونی و 4 نمونه سنگ آذرین بیرونی درج شده است

جدول 1- اطلاعات مربوط به سنگ های دگرگونی

EQC	کانی شناسی												CAI	اسم سنگ	محل برداشت	شماره نمونه
	سرباتیون	اپاک	سرسیت	ایروت	کلسیت	گازنت	مسکوویت	بیوتیت	کلریت	پلازیوکلاز	فلدسپات	کوارتز				
۳	۰	۰	۰	۰	۱۰۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱/۱	مرمر	لای بید- میمه	۱
۵۴/۸۷	۰	۰	۱۴/۵	۸/۵	۰	۰	۸	۱	۱۰	۱۲	۲	۴۴	۴/۳۵	سرسیت شیست	چندق	۲
۵۳/۸۲	۰	۱	۲۱	۰	۰	۰	۱۰	۴	۱۲	۰	۰	۵۲	۳/۷۱	سرسیت شیست	چندق	۳
۱۶/۳۶	۰	۱	۵۲	۰	۰	۵	۰	۰	۳۱	۲	۲	۷	۰/۷۸	سرسیت شیست	چندق	۴
۵۰/۰۸	۰	۰/۵	۲۳	۰	۰	۰	۲۵/۶	۰	۲	۱	۰	۴۸	۳/۳۹	مسکوویت شیست	چندق	۵
۳۳/۳۳	۰	۰	۳۰	۰	۰	۰	۰	۰	۲۰	۲	۲۰	۲۵	۲/۸۴	سرسیت شیست	انارک	۶
۴/۱۸	۹۵	۵	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱/۲۲	سرباتیونیت	انارک	۷
۷۰/۹۶	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۶/۵	۱۲	۰	۳/۵	۱۳	۶۵	۴/۴	گنایس	مبارکه اصفهان	۸

جدول ۲- اطلاعات مربوط به سنگ های آهکی

EQC	کانی شناسی							CAI	اسم سنگ	محل برداشت	شماره نمونه
	رگه سیلیسی	نوع گل	گل	فسیل	رگه اکسید آهن	کربنات	کوارتز				
۳/۳۷	۰/۴	آهکی	۸۴	۰	۰	۱۵/۲	۰	۱/۹۰	آهک	لای بید- میمه	۱
۴/۰۵	۰	آهکی	۷۶/۶	۰	۲۲/۲	۰	۰/۲	۱/۹۷	آهک	خرم آباد	۲
۳/۴۶	۰	آهکی	۶۸	۰	۳/۴	۱۹/۶	۰/۶	۱/۰۷	آهک	ده شیر- یزد	۳
۲/۹۶	۰	آهکی	۷۸/۶	۰	۰/۲	۲۰/۲	۰	۱/۳۳	آهک	حاجی آباد محلات	۴
۲/۸۸	۰	-	۰	۰	۲۴	۴۰	۰	۱/۲۲	آهک	نظنز- اصفهان	۵
۵/۸۷	۰	-	۰	۰	۴/۴	۹۲/۲	۲/۸	۱/۴۸	آهک	دیزلو- اصفهان	۶
۲/۲۴	۰	آهکی	۲	۳۰/۶	۶/۴	۶۰	۰	۱/۴۱	آهک	دیزلو- اصفهان	۷
۳/۷۹	۰	-	۰	۳۰	۰	۶۶/۴	۱/۸	۱/۴۳	آهک	بغم- اصفهان	۸

جدول 3- اطلاعات مربوط به سنگ های رسوبی آواری

EQC	کانی شناسی										CAI	اسم سنگ	محل برداشت	شماره نمونه
	رگه اکسید آهن	مسکویت	کلسیت	درجه سیمان شدگی	نوع سیمان	خرده سنگ رسوبی	خرده سنگ دگرگونی	خرده سنگ آذرین	پیروکسن	کوارتز				
۳۳/۵۸	۰	۰	۵۲/۸	۱۳/۸	اکسید آهن	۱/۴	۰	۰	۰	۳۲	۲/۲۳	کنگولومرا	دیزلو - اصفهان	۱
۸۷/۱۶	۲/۲	۰/۴	۰	۷/۸	کربناته	۰/۲	۰	۱/۲	۰	۸۷	۴/۱۰	ماسه سنگ	دیزلو - اصفهان	۲
۷۲/۰۱	۳/۲	۰	۰	۲۷/۸	کربناته	۰	۰	۰	۰	۷۲	۳/۷۵	ماسه سنگ	دیزلو - اصفهان	۳
۳۰/۶۸	۳	۰	۰	۵۵/۶	کربناته	۰/۸	۰/۴	۷/۴	۳/۸	۲۸	۱/۹۳	ماسه سنگ	انارک - اصفهان	۴
۸۷/۲	۰	۰	۰	۶/۸	کربناته + اکسید آهن	۰	۰	۶	۰	۸۷/۲۰	۴/۱۸	ماسه سنگ	شورقستان اصفهان	۵
۷۳/۶	۰	۰	۰	۲۱	کربناته + اکسید آهن	۰	۰	۵/۴	۰	۷۳/۶۰	۳/۷۸	ماسه سنگ	میجه	۶
۸۵/۰۶	۰	۲	۰	۱/۶	اکسید آهن	۰	۰/۸	۱۰	۰	۸۵	۴/۳۱	ماسه سنگ	صفه اصفهان	۷
۵۰	۰	۰	۰	۱۵/۶	اکسید آهن	۵	۰	۲۸	۰	۵۰	۲/۰۵	ماسه سنگ	رادکان مشهد	۸
۵۷	۰	۰	۰	۲۵	اکسید آهن	۰	۰	۱۷	۰	۵۷	۲/۱۹	ماسه سنگ	رادکان مشهد	۹
۶۳/۴	۰	۰	۰	۳۶/۶	کربناته	۰	۰	۰	۰	۶۳/۴۰	۲/۹۳	ماسه سنگ	دیزلو اصفهان	۱۰

جدول 4- اطلاعات مربوط به سنگ های آذرین درونی

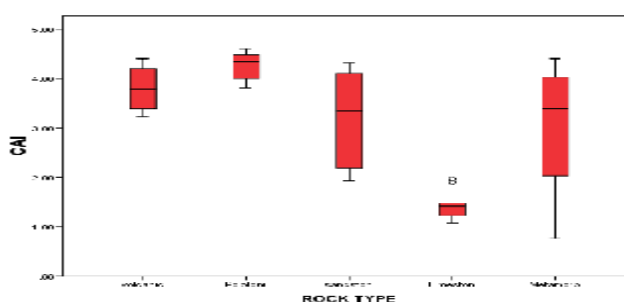
EQC	کانی شناسی											CAI	اسم سنگ	محل برداشت	شماره نمونه
	پویت	اپاک	سرسیت	آمفیبول	مسکوویت	بیوتیت	کلریت	پلازیوکلاز	میکروکلین	کفلسپات	کوارتز				
۶۰/۵	۰	۱	۱۰	۰	۳	۷	۰	۱۰	۲	۱۷	۵۰	۴/۴۷	گرانیت	نهبندان	۱
۶۱/۸۵	۵	۰	۰	۰	۰/۱	۰/۶	۱	۶۲/۲	۵/۱	۱۵	۴۷	۴/۴۸	گرانیت	مشهد	۲
۶۵/۶۱	۰	۱	۰	۰	۲	۵	۰	۱۷	۲	۲۱	۵۲	۴/۶	گرانیت	ناتین	۳
۵۸/۸۶	۰	۰	۵	۰	۲	۵	۱	۱۰	۲۶	۶	۴۵	۴/۲۲	گرانیت	جندق	۴
۴۱/۸۴	۰	۱	۰	۹	۰	۰	۰	۷۰	۰	۶	۱۴	۳/۸۱	کوارتز دیوریت	بغم اصفهان	۵
۵۰/۲۸	۲۶	۰	۰	۰	۰	۷	۰	۱۸	۰	۷	۴۲	۴	گرانیت	همدان	۶

جدول 5- بانک اطلاعات مربوط به سنگ های آذرین بیرونی

EQC	کانی شناسی								CAI	اسم سنگ	محل برداشت	شماره نمونه
	اپاک	سرسیت	شیشه	خرده سنگ آذرین	پلاژیو	کفلدسپات	پیروکسن	کوارتز				
۵۵/۸۹	۲	۰	۶۲	۰	۲۷	۰	۹	۰	۴	آندزیت	تربت حیدریه	۱
۵۱/۹۴	۲	۰	۷۰	۱۴/۵	۶	۶	۰	۱/۵	۳/۳۲	توف آندزیت	زفره - اصفهان	۲
۵۱/۹۵	۰/۵	۱۱	۶۰	۸	۱۲	۰	۰	۸/۵	۳/۵۶	توف	بغم - اصفهان	۳
۶۱/۷۶	۰	۱	۷۳	۰/۵	۱۴	۲/۵	۰	۹	۴/۴	کوارتز	شورقستان - اصفهان	۴

3- تحلیل آماری

بنابراین در این مطالعه، از تعداد ۳۶ آزمایش سرشار برای مقایسه با مقادیر کوارتز معادل استفاده شده است. این آزمون بر روی سنگ‌های مختلف مانند سنگ‌های آذرین نفوذی، بیرونی، آهک، ماسه سنگ و دگرگونی انجام شده است. برای روشن شدن بیشتر موضوع نمودار جعبه‌ای نتایج مقادیر CAI اندازه گیری شده توسط آزمون سرشار برای سنگ‌های مختلف در شکل ۵ نشان داده شده است.



شکل 5- نمودار جعبه‌ای داده های آزمون سرشار (CAI) بر روی سنگ‌های مختلف

لازم به توضیح است که جهت اینکه مشخص شود آیا رابطه معنی داری از نظر آماری بین ضریب سایش سرشار (CAI) و مقدار کوارتز معادل وجود دارد، بایستی مدل‌ها مختلف روی آنها برازش شود. در این مطالعه، این برازش توسط نرم افزار SPSS انجام شد و مدل‌هایی مانند ارتباط خطی (Linear)، لگاریتمی (Logarithmic)، معکوس (Inverse)، درجه دوم (Quadratic)، درجه سوم (Cubic) و نمایی (Exponential) بین مقادیر مذکور مورد بررسی قرار گرفت.

در این مطالعه علاوه بر اینکه روابط مختلف بین ۳۶ داده موجود مورد بررسی قرار گرفتند، برازش‌های مختلف برای هر یک از سنگ‌های آذرین نفوذی، بیرونی، آهک، ماسه سنگ و دگرگونی بطور جداگانه انجام شد.

در این قسمت از مقاله به منظور تعیین بهترین رابطه و خط رگرسیون کمترین مربعات بین متغیر کنترل (EQC) و پاسخ (CAI)، آنالیز رگرسیون دو متغیره توسط آزمون آماری فیشر و توسط نرم افزار SPSS انجام شده است. خروجی آنالیز رگرسیون دو متغیره شامل پارامترهای ضریب فیشر (F)، ضریب رگرسیون (R Square)، ضریب رگرسیون اصلاح شده (Adjusted R Square) و ضریب معنی داری (sig) است. طبق معیارهای آماری مدلی مناسب تر است که هم مقدار ضریب فیشر (F) بالاتری داشته باشد و هم مقدار ضریب معنی داری (sig) آن کمتر از ۰.۰۵ باشد. چنانچه ضریب معنی داری (sig) مدلی بیشتر از ۰.۰۵ باشد آن مدل از نظر آماری معنی دار نمی‌باشد. ضمناً در این میان مقدار ضریب فیشر بر ضریب رگرسیون (R Square) ارجح تر می‌باشد. بنابراین به منظور روشن شدن بیشتر موضوع، مقادیر F مدل‌های مختلف در جدول ۶ آورده شده است. این مقادیر از جداول ANOVA استخراج شده است.

در این جدول، مدل‌هایی که مقدار ضریب معنی داری (sig) آن بیشتر از ۰.۰۵ باشد با رنگ قرمز و در مقابل مدل‌هایی که مقدار ضریب فیشر (F) بالاتری داشته با رنگ سبز نشان داده شده است. تفسیر نتایج مندرج در جدول ۶ به شرح ذیل می‌باشد:

- در خصوص سنگ‌های آذرین بیرونی (ولکانیکی) تنها مدل‌های معکوس (Inverse) و خطی دارای مقدار ضریب معنی داری (sig) آن کمتر از یا برابر با ۰.۰۵ بوده است. به عبارت دیگر تنها این مدل‌ها (با ضریب فیشر حدود ۲۰ و ۱۶)، از نظر آماری معنی دار بوده است. اگر چه مدل معکوس دارای ضریب فیشر بالاتری است ولی در عین حال مدل خطی نیز با ضریب فیشر برابر با ۱۶ میتواند مدل مناسبی برای این نوع سنگ باشد. حتی به نظر می‌رسد با افزایش داده‌ها مدل خطی مناسبتر خواهد بود.
- تمامی مدل‌ها برای سنگ‌های آذرین درونی از نظر آماری معنی دار بوده اند و مقدار ضریب معنی داری (sig) آنها کمتر از ۰.۰۵ بوده است. ولی ضریب فیشر (F) در مدل نمایی (Exponential) با مقدار  $F=79$  از بقیه مدل‌ها بیشتر بوده است بنابراین مدل نمایی دارای مناسبترین برازش در سنگ‌های آذرین درونی می‌باشند.
- برای ماسه سنگ‌ها نیز همانند سنگ‌های آذرین درونی، تمامی مدل‌ها از نظر آماری معنی دار بوده اند. ولی مدل‌های نمایی و خطی با مقدار ضریب فیشر ۵۵ دارای برازش مناسبتری می‌باشند.
- هیچ یک از مدل‌ها در سنگ‌های آهکی بر خلاف سنگ‌های دیگر، از نظر آماری معنی دار نبوده اند و مقدار ضریب معنی داری (sig) آنها بیشتر از ۰.۰۵ بوده است. این محاسبات میتواند این نتیجه را به همراه داشته باشد که در سنگ‌های آهکی، مقدار کوارتز معادل (EQC) پارامتر تاثیر گذار در ضریب سایش نمی‌باشند. به عبارت دیگر پارامتر یا پارامترهای دیگری، خصوصیات سایش را در سنگ‌های آهکی کنترل می‌نماید که توصیه می‌شود در تحقیقات آینده مورد بررسی قرار گیرند.
- در سنگ‌های دگرگونی همه ی مدل‌ها از نظر آماری معنی دار بوده است. در عین حال مدل خطی با ضریب فیشر برابر با 64 از دیگر مدل‌ها دارای برازش مناسبتری است.
- مدل‌های برازشی درجه دوم و سوم با اینکه دارای ضریب رگرسیون (R Square) آنها از مدل‌های دیگر بیشتر بوده است ولی مقدار ضریب فیشر در هیچ یک از انواع سنگی مختلف بیشتر از دیگر مدل‌ها نبوده است.



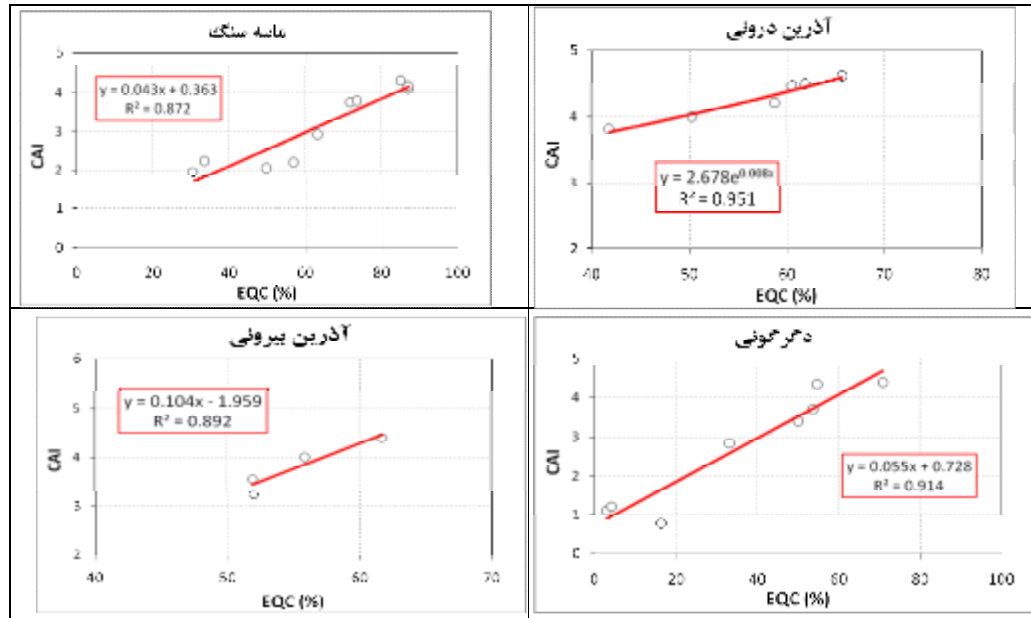
- در میان انواع مختلف سنگ‌ها، بیشترین مقدار ضریب فیشر متعلق به سنگ‌های آذرین درونی بوده است. به عبارت دیگر در این نوع از سنگ‌ها، مقدار کوارتز معادل بیشترین تاثیر را بر روی ضریب سایش در مقایسه با دیگر انواع سنگ‌ها دارد.
- همانطور که اشاره گردید، علاوه بر سنگ‌های مختلف، برازش مدل‌ها را برای تمامی انواع سنگ‌ها (تمامی ۳۶ داده) در این مطالعه مورد ارزیابی قرار گرفته است. بهترین برازش متعلق به مدل خطی می‌باشد.

جدول 6- ضرایب آماری استخراج شده از برازش رگرسیون دو متغیره توسط نرم افزار SPSS

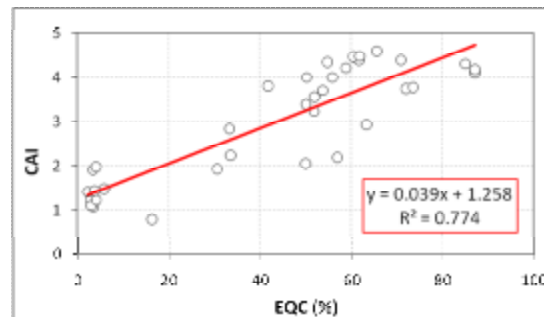
جدول 6- ضرایب آماری استخراج شده از برازش رگرسیون دو متغیره توسط نرم افزار SPSS

نوع ژنز سنگ	ضرایب آماری	خطی Liner	لوگاریتمی Logarithmic	معکوس Inverse	درجه سه Cubic	درجه دو Quadratic	نمایی Exponential
تمامی داده ها (همه سنگ‌ها)	F	117	86	45	46	61	110
	sig	0	0	0	0	0	0
	R Square	0.774	0.717	0.572	0.812	0.787	0.765
	Adjusted R Square	0.768	0.709	0.559	0.794	0.774	0.758
سنگ های آذرین بیرونی (ولکانیکی)	F	16.6	18	20	6.8	6.8	12.7
	sig	0.05	0.051	0.048	0.262	0.262	0.071
	R Square	0.892	0.9	0.907	0.931	0.931	0.864
	Adjusted R Square	0.838	0.85	0.861	0.794	0.794	0.796
سنگ های آذرین درونی	F	67	49	36	38	38	79
	sig	0.001	0.002	0.004	0.007	0.007	0.001
	R Square	0.944	0.925	0.9	0.962	0.962	0.952
	Adjusted R Square	0.93	0.906	0.875	0.937	0.936	0.94
ماسه سنگ	F	55	30	17	38	38	55
	sig	0	0.001	0.003	0	0	0
	R Square	0.872	0.792	0.646	0.892	0.892	0.873
	Adjusted R Square	0.856	0.766	0.685	0.916	0.916	0.857
آهک	F	0.6	0.7	0.7	0.5	0.5	0.7
	sig	0.46	0.42	0.414	0.64	0.639	0.44
	R Square	0.08	0.095	0.097	0.138	0.152	0.087
	Adjusted R Square	0	0	0	0	0	0
سنگ‌های دگرگونی	F	64	19	6	27	27	31
	sig	0.00	0.005	0.043	0.02	0.004	0.001
	R Square	0.915	0.761	0.522	0.915	0.954	0.84
	Adjusted R Square	0.9	0.621	0.442	0.881	0.919	0.813

ضمناً در ادامه به منظور روشن شدن بیشتر موضوع، نمودار پراکنش و خط رگرسیون مناسبترین مدل برای هر یک از انواع سنگی مختلف در شکل ۶ ترسیم و درج شده است. در این جدول علاوه بر موارد مذکور، رابطه بین EQC و CAI و همچنین ضریب رگرسیون (R Square) نیز آورده شده است. لازم به ذکر است که چنین نموداری برای همه واحدهای سنگی (همه ۳۶ نمونه) ترسیم و در شکل ۷ ارائه شده است.



شکل 6- نمودار پراکنش و رگرسیون بین CAI و EQC برای هر یک از انواع سنگ‌های مختلف



شکل 7- نمودار پراکنش و رگرسیون بین CAI و EQC برای همه انواع سنگ‌های مختلف

#### 4- جمع بندی و پیشنهادات

مسئله مورد بررسی در این مقاله، ارتباط بین مقادیر ضریب سایش سرشار (CAI) اندازه گیری شده در آزمون سرشار و مقادیر کوآرتز معادل (EQC) برآورد شده توسط آزمون مقطع نازک می‌باشد. همانطور که توضیح داده شد یک بانک اطلاعات در این تحقیق گردآوری شده است که در آن به ازای هر آزمایش سرشار یک آزمایش مقطع نازک نیز وجود دارد. در این بانک اطلاعات نتایج تعداد ۳۶ آزمایش سرشار و مقطع نازک وجود دارند. این آزمون‌ها بر روی سنگ‌های مختلف مانند سنگ‌های آذرین نفوذی، بیرونی، آهک، ماسه سنگ و دگرگونی انجام شده است.

در این مطالعه علاوه بر اینکه روابط مختلف بین ۳۶ داده موجود مورد بررسی قرار گرفتند، برازش‌های مختلف برای هر یک از سنگ‌های آذرین نفوذی، بیرونی، آهک، ماسه سنگ و دگرگونی بطور جداگانه انجام شد. نکته جالب توجه این است که هیچ

یک از مدل‌ها در سنگ‌های آهکی بر خلاف سنگ‌های دیگر، از نظر آماری معنی دار نبوده اند... این محاسبات می‌تواند این نتیجه را به همراه داشته باشد که در سنگ‌های آهکی، مقدار کوارتز معادل (EQC) پارامتر تاثیرگذار در ضریب سایش نمی‌باشند. به عبارت دیگر، پارامتر یا پارامترهای دیگری خصوصیات سایش را در سنگ‌های آهکی کنترل می‌نماید که توصیه می‌شود در تحقیقات آینده مورد بررسی قرار گیرند.

در میان انواع مختلف سنگ‌ها، بیشترین مقدار ضریب فیشر متعلق به سنگ‌های آذرین درونی بوده است. به عبارت دیگر در این نوع از سنگ‌ها، مقدار کوارتز معادل بیشترین تاثیر را بر روی ضریب سایش در مقایسه با دیگر انواع سنگ‌ها دارد. همانطور که اشاره گردید، علاوه بر سنگ‌های مختلف، برآزش مدل‌ها را برای تمامی انواع سنگ‌ها (تمامی ۳۶ داده) در این مطالعه مورد ارزیابی قرار گرفته است. بهترین برآزش متعلق به مدل خطی با ضریب رگرسیون حدود ۰.۸ می‌باشد. بنابراین نتایج حاصل از تحلیل آماری بر روی آزمون‌های مذکور نشان می‌دهد که رابطه معنی داری (با ضریب فیشر و رگرسیون بالا) بین درصد کوارتز معادل و عدد CAI وجود دارد. بنابراین می‌توان با تهیه مقطع نازک مقادیر کوارتز معادل را با دقت قابل قبولی برآورد نمود. ولی توصیه می‌شود به منظور برآورد CAI به جای استفاده از یک رابطه کلی، برای هر یک از انواع سنگ‌های رسوبی، دگرگون و آذرین از روابط مخصوص آنها استفاده شود.

## منابع

مرادی زاده اصفهانی م.، غفوری م.، لشکری پور غ.ر.، طریق ازلی ص.، (۱۳۹۱). " نحوه بررسی ساینده‌گی سنگ های مختلف با دستگاه سرشار "، اولین همایش زمین شناسی فلات ایران.

هاشم نژاد ه.، غفوری م.، لشکری پور غ.ر.، طریق ازلی ص.، (۱۳۹۱). " بررسی تاثیرات شکل، کرویت و زاویه داری ذرات در میزان ساینده‌گی نمونه خاک به کمک دستگاه LCPC "، شانزدهمین همایش انجمن زمین شناسی ایران.

- Al -Ameen, S.I. and Wallner, M.D. (1994). " The influence of rock strength and Abrasive mineral content on the Cerchar Abrasive Index " , Eng Geol, Vol.36, pp. 293-301.
- AFNOR NF P94-430-1. (2000). "Détermination du pouvoir abrasif d' une roche - Partie 1: Essai de rayure avec une pointe" (NF P 94-430 1). Paris.
- ASTM D7625-10. (2010). " Standard test method for laboratory determination of abrasiveness of rock using the CERCHAR Method " , ASTM International.
- Deliormani, A.H. (2011). "Cerchar Abrasivity Index(CAI) and its relation to strength and abrasion test methods for marble stones" , Construction and building materials, Vol. 30, pp. 16-21.
- Esper, S. and Larsen, S. and Franklin, S. and Miller, F.S. (1935). " Rosiwal method And the Modal Determination of Rocks", Journal Mineralogical Society of America, pp. 260 -273.
- McFeat -Smith, I. (1997). " Correlation of rock properties and the cutting performance of tunneling ,machines", Proc on Rock Engineering, Newcastle upon, pp. 581-602.
- Plinninger, R.J. and Restner, U. (2008). "Abrasiveness Thesting Quo Vadis , A commentes over view Of Abrasiveness Testing Methods " Geo Mechanic and Tunnelbau, Vol. 1, pp. 61-70.
- Sauna, M. and Peters, T. (1982). " The cerchar abrasivity index and its relation to rock mineralogy and petrography" , Rock Mech , Vol.15, pp. 1-7.
- Thuro , K. (1997). " prediction of drillability in hard rock tunneling by drilling and blasting" , tunnels for people, pp.103-108.
- Yaral, O. and Yasar, E. and Bacak, G. and Ranjith, P.G. (2007). " A study of rock abrasivity and tool wear in coal measures rocks " , International journal of coal Geology , Vol .74, pp . 53-66.