



## بررسی آماری تغییرات اندیس شیمازک در تونل انتقال آب صفارود

رضا براتی پور<sup>۱</sup>، سعید مهدوی (نویسنده مسئول)<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup>دانشکده مهندسی معدن، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان Reza19932003@yahoo.com

<sup>۲</sup>دانشکده مهندسی معدن، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان Smahdevari@iut.ac.ir

### چکیده

حفر تونل‌های انتقال آب با توجه به شرایط اقلیمی ایران امری اجتناب‌ناپذیر است. یکی از فاکتورهای اساسی که زمان‌بندی، امکان‌پذیری و هزینه مربوط به حفر تونل را تحت تاثیر قرار می‌دهد، میزان مصرف ابزار برش است و اندیس شیمازک یکی از فاکتورهای شناخته شده به منظور ارزیابی میزان سایش ابزار برش است. لذا در این پژوهش با نمونه‌گیری از ۵ کیلومتر ابتدایی قطعه جنوبی و ۷ کیلومتر ابتدایی قطعه شمالی تونل انتقال آب صفارود، مقدار تغییرات اندیس شیمازک در قالب تابع توزیع مورد بررسی قرار گرفته است. بدین منظور با توجه به مطالعات پتروگرافی، درصد کانی‌های تشکیل دهنده هر نمونه ارزیابی و محتوی کوارتز معادل آنها محاسبه شده است. سپس بر اساس تحلیل تصویری تابع توزیع دانه‌بندی هر کانی مورد ارزیابی قرار گرفته است و با توجه به تابع توزیع مقاومت کششی نمونه‌های اخذ شده و نمونه‌گیری تصادفی، تابع توزیع اندیس شیمازک برای هر نمونه حاصل شده است. نتایج تحلیل نشان داد، تابع توزیع اندیس شیمازک، تابع توزیع لاگ نرمال است و با ۲۰۰ نمونه‌گیری تصادفی می‌توان تابع توزیع را استخراج کرد. دامنه تغییرات اندیس شیمازک در نمونه‌های آندزیتی از ۰/۱ تا ۰/۵ بود، که بیانگر این است که توصیف سنگ‌شناسی نمونه‌های سنگی نمی‌تواند معیار مناسبی برای ارزیابی پتانسیل سایندگی سنگ باشد.

### واژه‌های کلیدی

اندیس شیمازک، تونل انتقال آب صفارود، تابع توزیع، مطالعات آماری.



## ۱. مقدمه

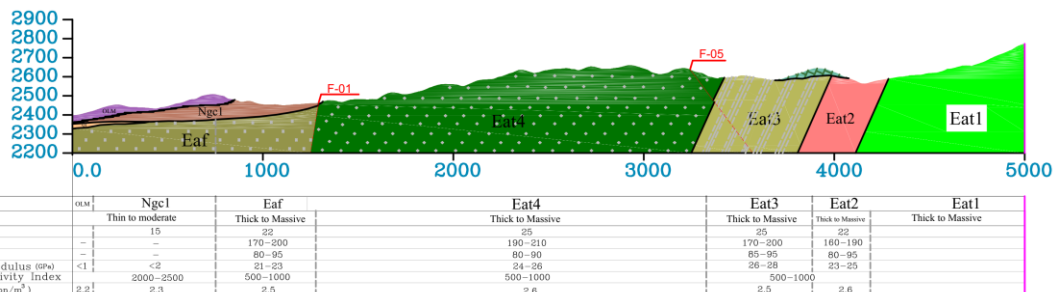
یکی از چالش‌های عمده در حفاری مکانیزه فضاهای زیرزمینی، برآورد میزان مصرف ابزار برش است. در سنگ‌های ساینده، هزینه‌های مربوط به تعویض ابزار برش بخش مهمی از بودجه کل پروژه است و می‌تواند بر امکان‌سنجی استفاده از حفاری مکانیزه تأثیر بگذارد. تأخیر مربوط به تعویض ابزار برش، سرعت حفاری را کاهش می‌دهد و در نتیجه هزینه پروژه و زمان لازم برای تکمیل پروژه افزایش می‌یابد. سه گروه عمده از پارامترها که عبارتند از شرایط زمین‌شناسی، ویژگی‌های ابزار برش و شرایط عملیاتی دستگاه بر میزان سایش ابزار برش تأثیر می‌گذارند. محتوای کوارتز، مقاومت سنگ، محتوای آب و سطح تنش‌های القایی به عنوان شرایط زمین‌شناسی مورد بحث قرار می‌گیرد. میزان نفوذ، گشتاور و تراست دستگاه و سرعت چرخش کله‌حفار از جمله پارامترهای عملیاتی دستگاه هستند و هندسه و جنس ابزار برش، فاصله و محل نصب آنها در دسته پارامترهای ابزار برش قرار می‌گیرند [2].

روش‌هایی که برای ارزیابی میزان مصرف ابزار برش یا بررسی پتانسیل ساینده‌گی سنگ یا خاک ارائه شده است را می‌توان در دو دسته کلی طبقه‌بندی کرد. دسته اول ساینده‌گی سنگ را بر اساس مطالعه پتروگرافی و آزمون‌های آزمایشگاهی مرسوم مانند آزمون مقاومت فشاری تک‌محوره ارزیابی می‌کنند. شاخص شیمازک متعلق به این دسته است [3]. ارزیابی ساینده‌گی سنگ در دسته دوم بر اساس آزمون‌های آزمایشگاهی غیر متعارف در بزرگ مقیاس و کوچک مقیاس است. شاخص ساینده‌گی سرشار، آزمون ارزیابی پتانسیل شکنندگی (S20) و آزمون ارزیابی مقدار سایش که با عنوان AV شناخته می‌شود از جمله آزمون‌های غیر متعارف هستند که در این دسته قرار می‌گیرند [4-5].

در چند دهه اخیر پژوهشگران بسیاری سعی کرده‌اند به طور غیر مستقیم میزان سایش سنگ را ارزیابی کنند [5-8]. یکی از این فاکتورهای که به صورت غیر مستقیم میزان سایش ابزار برش را ارزیابی می‌کند، اندیس شیمازک است. این اندیس از حاصل ضرب سه پارامتر محتوی معادل کوارتز، مقاومت کششی و سایز ذرات حاصل می‌شود، که به صورت مطلق در رابطه وارد شده و منجر به یک مقدار مطلق برای اندیس شیمازک و به تبع آن یک مقدار مطلق برای میزان مصرف ابزار برش می‌شود. درحالی‌که در مواجهه با سنگ، مقدار پارامترهای مذکور متغیر بوده، عدم قطعیت دارند و از یک تابع توزیع که معمولاً نرمال یا لاگ‌نرمال است تبعیت می‌کنند. لذا در پژوهش حاضر به جای استفاده از مقادیر مطلق به منظور محاسبه اندیس شیمازک، تابع توزیع هر پارامتر بر اساس مطالعات آماری ارزیابی شده و بر اساس تکنیک نمونه‌گیری تصادفی، مقدار اندیس شیمازک در قالب تابع توزیع ارزیابی شده است. تابع توزیع پارامترها بر اساس مطالعات پتروگرافی بر روی نمونه‌های حاصل از تونل انتقال آب صفارود حاصل شده است. لذا در ادامه ابتدا تونل انتقال آب صفارود معرفی شده و نحوه استخراج پارامترها به منظور محاسبه اندیس شیمازک شرح داده می‌شود.

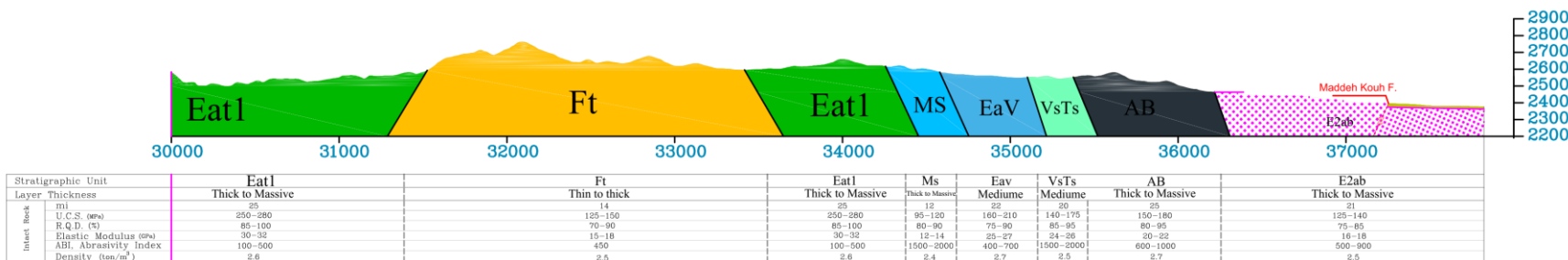
## ۲. موقعیت و زمین‌شناسی تونل انتقال آب صفارود

شهر کرمان، در حاشیه کویر لوت و در فاصله ۱۰۴۰ کیلومتری جنوب شرقی شهر تهران واقع شده است. تونل انتقال آب کرمان که با هدف تامین آب شرب شهر کرمان در حال حفاری است و تحت عنوان تونل انتقال آب صفارود شناخته می‌شود در شمال غربی حوزه آبریز جازموریان واقع شده است. ساختمان تونل در ارتفاعات جنوب بهرام‌جرد واقع شده و از رابر تا گلزار گسترده شده است. سنگ‌های دربرگیرنده تونل دامنه‌ای از سنگ‌های نیمه مقاوم بلوکی تا سنگ‌های بسیار مقاوم توده‌ای و ساینده را شامل می‌شود که مشخصات ماشین و ابزار برش مناسب را تحت تأثیر قرار می‌دهد. تونل انتقال آب صفارود از دو قطعه شمالی و جنوبی با طول ۱۹ کیلومتر تشکیل شده و برای حفاری هر قطعه از یک TBM سپر دابل که مربوط به پروژه‌های نوسود و کرج است استفاده شده است. ماشین‌های مذکور با توجه به شرایط پروژه بازسازی شده‌اند. به منظور ارزیابی مشخصات ژئومکانیکی سنگ‌های ساخته‌شده تونل آزمون‌های مقاومت فشاری تک‌محوره، سه محوره، کشش برزیلی و مقاومت برشی بر روی مغزه‌های حاصل از حفاری انجام شده است. مطالعه حاضر بر روی ۵ کیلومتر ابتدایی قطعه جنوبی و ۷ کیلومتر ابتدایی قطعه شمالی انجام شده است، لذا پروفیل زمین‌شناسی قطعات ذکر شده به همراه پارامترهای ژئومکانیکی هر واحد شامل مقاومت فشاری تک‌محوره سنگ بکر بر حسب مگا پاسگال، RQD، مدول تغییرشکل سنگ بکر بر حسب گیگاپاسگال، ثابت  $m_i$  مربوط به ملاک شکست هوک و براون و اندیس ساینده‌گی [9] در شکل‌های ۱ و ۲ نمایش داده شده است. کلیه واحدها در شکل ۱ شرح داده شده‌اند و غسل‌ها با اندیس F و رنگ قرمز نمایش داده شده است. همانگونه که ملاحظه می‌شود بخش عمده‌ای از مسیر در سنگ‌های آذرین با پتانسیل ساینده‌گی بالا قرار می‌گیرد.



Stratigraphic Unit	Lithology
OLM	Lepid. Limestone conglomerate
Nge1	Mudstone, Sandstone and Conglomerate
Eaf	Quartz andesite, Dacite
Eat4	Andesite agglomerate and pyroclastic rocks
Eat3	Andesite, Andesite Basalt lava, and intercalations of GRANODIORITE
Eat2	Quartz GRANODIORITE
Eat1	Andesite, Andesite Basalt with intercalations of Tuff and Rhyolite
Ft	Flysch type rocks
Ms	Marly sandstone
Eav	Andesite basalt, Trachy andesite basalt and ignimbrite
VsTs	Volcano sediment tuff and sandstone
AB	Andesite Basalt
E2ab	Andesite basalt and intercalations of Gravel and Volcanic breccia

شکل ۱. پروفیل زمین‌شناسی ۵ کیلومتر ابتدایی قطعه جنوبی [1]



شکل ۲. پروفیل زمین‌شناسی ۷ کیلومتر ابتدایی قطعه شمالی [1]



### ۳. نمونه‌گیری و آنالیز پتروگرافی

به منظور آنالیز پتروگرافی ۱۴ نمونه از پرتال شمالی و جنوبی تونل انتقال آب برداشت شده است. آنالیز پتروگرافی با هدف تعیین نوع سنگ، کانی‌های تشکیل دهنده هر نمونه و تابع توزیع دانه‌بندی مربوط به هر کانی انجام شده است. به منظور حذف اثر جهت نمونه‌گیری بر روی تابع توزیع دانه‌بندی کانی‌های تشکیل دهنده هر سنگ، مقاطع نازک از نمونه‌ها در دو جهت متعامد تهیه شده است. کفایت تعداد عکس‌های پتروگرافی تهیه شده از هر نمونه سنگی با مقایسه تابع توزیع دانه‌بندی حاصل شده برای هر کانی با تابع توزیع دانه‌بندی جامعه مادر برای آن کانی تعیین شده است. یکسان بودن تابع توزیع حاصل شده با تابع توزیع جامعه مادر با استفاده از آزمون آماری T-Student ارزیابی شده است. بدین منظور ابتدا تابع توزیع بر اساس دو عکس پتروگرافی برای هر کانی تعیین شده است و تابع توزیع حاصل شده با تابع توزیع بدست آمده بر اساس چهارعکس مقایسه شده است و این روند به صورت باینری تا جایی ادامه پیدا کرده است که تابع توزیع دانه‌بندی حاصل شده برای هر کانی مستقل از تعداد عکس‌های پتروگرافی مورد بررسی باشد. در جدول ۱، نمونه‌های گرفته شده، نوع سنگ و یک عکس پتروگرافی مربوط به هر نمونه نمایش داده شده است.

جدول ۱. نمونه‌های گرفته شده از پرتال شمالی و جنوبی تونل انتقال آب صفارود

شماره نمونه	۱	۲	۳	۴
محل نمونه‌گیری	قطعه جنوبی	قطعه شمالی	قطعه جنوبی	قطعه جنوبی
نوع سنگ	شیل آهکی	آندزیت دگرسان شده	بازالت دگرسان شده	سنگ آهک
عکس پتروگرافی				
شماره نمونه	۵	۶	۷	۸
محل نمونه‌گیری	قطعه شمالی	قطعه جنوبی	قطعه جنوبی	قطعه جنوبی
نوع سنگ	ماسه سنگ	آندزیت دگرسان شده	آندزیت با دگرسانی بالا	گرانودیوریت
عکس پتروگرافی				
شماره نمونه	۹	۱۰	۱۱	۱۲
محل نمونه‌گیری	قطعه شمالی	قطعه شمالی	قطعه شمالی	قطعه جنوبی
نوع سنگ	آندزیت دگرسان شده	آندزیت دگرسان شده	آندزیت دگرسان شده	آندزیت هوازده
عکس پتروگرافی				
شماره نمونه	۱۳		۱۴	
محل نمونه‌گیری	قطعه شمالی		قطعه شمالی	
نوع سنگ	توف		آندزیت دگرسان شده	
عکس پتروگرافی				



مطالعه مقاطع با استفاده از میکروسکوپ پلاریزان نور عبوری و انعکاسی انجام شده است. از هر مقطع ۲۳۶ عکس با ابعاد ۴۸۰\*۷۲۰ پیکسل تهیه شد تا کل مقطع پوشش داده شود. کلیه کانی‌های شناسایی شده در مقاطع به همراه سختی آنها که بر اساس مقیاس موس ارزیابی شده است، در جدول ۲ نمایش داده شده است. در جدول ۳ درصد هر یک از کانی‌های ذکر شده در جدول ۲ که در نمونه‌های اخذ شده از تونل قابل شناسایی بودند ذکر شده است. شایان ذکر است که درصد کانی‌های رسی به دلیل سختی پایین ذکر نشده است.

جدول ۲. کانی‌های شناسایی شده در مقاطع به همراه سختی آنها در مقیاس موس

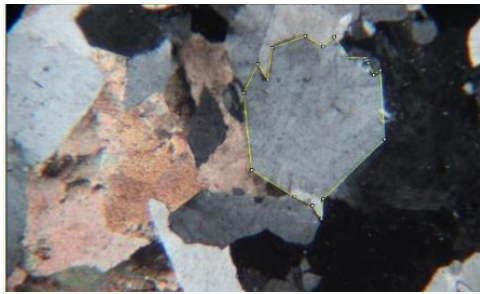
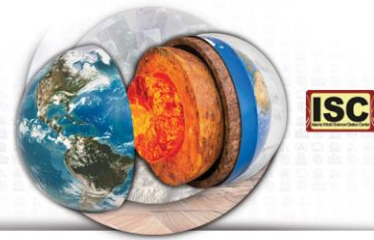
نام کانی	کوارتز	پلاژیوکلاز	اپیدوت	پیروکسن	فلدسپات	هماتیت
سختی	۷	۶	۶/۵ - ۷	۵ - ۶	۶ - ۶/۵	۵/۵ - ۶
نام کانی	آپاتیت	کلسیت	اسپاریت	میکریت	کلریت	آمفیبول
سختی	۵	۳	۳	۳	۲ - ۲/۵	۶

جدول ۳. درصد کانی‌های موجود در هر یک از نمونه‌های اخذ شده از تونل

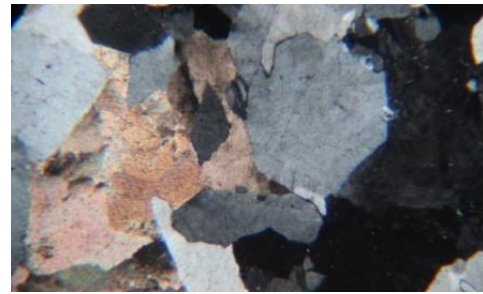
شماره نمونه	کوارتز	پلاژیوکلاز	اپیدوت	پیروکسن	فلدسپات	هماتیت	آپاتیت	کلسیت	کلریت	آمفیبول
۱	۰/۴	۱/۰۷	-	-	-	-	-	۰/۳	-	-
۲	۰/۵۵	۲۸	۲۲/۷۵	-	-	-	-	۲/۸۴	۴/۱۱	-
۳	-	۲۳	-	۲/۵۲	-	۰/۱۲	-	۱۵/۴۴	-	-
۴	-	-	-	-	-	۰/۴۶	-	۲۶/۷	-	-
۵	۴۹	-	-	-	۲/۸۴	-	-	۴۲/۷۵	-	-
۶	-	۸/۲۴	-	-	-	۱/۰۹	-	۴۷/۶	-	-
۷	۱/۹	۶۵/۲۵	-	-	-	۰/۸۷	۰/۰۲	۲/۲۲	-	۳/۸۴
۸	۱۰/۱۸	۵۶/۸۳	-	-	-	-	-	۲۰/۷۵	-	۱/۸۵
۹	-	۵۹	۱/۴۲	-	-	-	-	۱۵/۷۷	-	-
۱۰	-	۴۴/۴	-	-	-	۰/۱۲	-	۱۳/۶۶	-	۱/۲
۱۱	۲/۸۹	۷۰/۶۸	-	-	-	۰/۶۲	۰/۲	-	-	۱/۷۵
۱۲	۱/۷۸	۳۶/۲۳	-	-	-	-	-	۸/۴	-	-
۱۳	۰/۳۲	۹/۷۱	-	-	-	-	-	۳۰	-	-
۱۴	۱/۶۳	۵۹/۳	-	-	-	-	-	۱۶/۹	-	-

۴. تابع توزیع دانه‌بندی کانی‌های موجود در هر نمونه

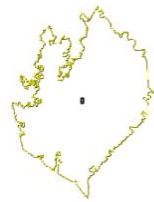
به منظور ارزیابی تابع توزیع دانه‌بندی هر کانی از آنالیز تصویری استفاده شده است. بدین منظور از نرم‌افزار Image J استفاده شده است. به منظور محاسبه سطح مقطع هر کانی ابتدا باید عکس مقیاس‌دهی شود. نرم‌افزار در شرایطی که بین کانی‌ها و زمینه تفاوت رنگ واضحی وجود داشته باشد قادر به تشخیص مرزهای کانی است. لذا ابتدا با توجه به قابلیت‌های نرم‌افزار و استفاده از گزینه‌های فیلتراسیون مرزهای کانی‌ها تا حد امکان شناسایی شده و در بخش‌هایی که به دلیل نزدیکی بودن رنگ‌ها، نرم‌افزار قادر به تشخیص نبود مرزها توسط محقق اصلاح شده است. مراحل آنالیز تصویری توسط نرم‌افزار Image J در شکل ۲ نمایش داده شده است. اندازه دانه‌ها با توجه به مساحت هر دانه و قطر دایره‌ای که مساحتی معادل مساحت دانه داشته باشد ارزیابی شده است.



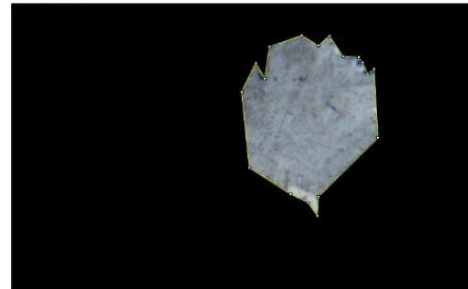
ب



الف



د



ج

شکل ۲. مراحل آنالیز تصویری توسط نرم افزار Image J. الف: تصویر گرفته شده از مقطع، ب: شناسایی مرزهای کانی، ج: حذف بقیه کانی‌ها، د: تصویر باینری برای محاسبه سطح کانی

## ۵. بحث و بررسی

اندیس شیمازک از حاصل ضرب سه پارامتر اندازه دانه‌ها بر حسب سانتی‌متر، مقاومت کششی بر حسب کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع و محتوی کوارتز معادل حاصل می‌شود. به منظور استخراج مقدار اندیس شیمازک در قالب تابع توزیع، تابع توزیع دانه‌بندی هر کانی بر اساس تحلیل تصویری استخراج شده است و با نمونه‌گیری تصادفی از هر تابع توزیع، اندازه کانی مشخص شده است. محتوی کوارتز معادل برای هر کانی با توجه به سختی روزیوال ارزیابی شده است. در این مقیاس سختی سایشی کوارتز معادل ۱۰۰ لحاظ شده است. لذا با ارزیابی سایش دیگر کانی‌ها در مقیاس روزیوال، می‌توان پتانسیل سایش کانی‌ها را نسبت به کوارتز و در نتیجه محتوی کوارتز معادل را ارزیابی کرد. به منظور تبدیل مقیاس سختی موس به سختی روزیوال از رابطه ۱ استفاده شده است.

$$H_R = e^{\left(\frac{H_M - 2.12}{1.05}\right)} \quad (1)$$

که در آن:  $H_M$  سختی موس و  $H_R$  سختی روزیوال است.

با توجه به درصد هر کانی در نمونه مورد بررسی، محتوی کوارتز معادل آن، اندازه استخراج شده از تابع توزیع دانه‌بندی برای آن کانی و مقاومت کششی نمونه، مقدار اندیس شیمازک با استفاده از رابطه ۲ ارزیابی شده است.

$$F = \sigma_t \sum_{i=1}^n A_i \times Q_i \times D_i \quad (2)$$

که در آن:  $\sigma_t$  مقاومت کششی نمونه،  $A$  درصد هر کانی در نمونه مورد بررسی،  $Q$  محتوی کوارتز معادل برای هر کانی،  $D$  سایز معادل هر کانی که از تابع توزیع استخراج شده است.

به دلیل اینکه امکان ارزیابی مقاومت کششی کانی‌های تشکیل دهنده سنگ وجود ندارد، از مقاومت کششی نمونه به منظور محاسبه اندیس شیمازک بهره برده شده است. مقاومت کششی نمونه‌ها از تابع توزیع نرمال تبعیت می‌کند و در محاسبه اندیس شیمازک از تابع توزیع مقاومت کششی نمونه‌ها نیز به صورت تصادفی نمونه گرفته شده است. تابع توزیع دانه‌بندی کانی‌های تشکیل دهنده هر کانی غالباً نرمال و لاگ‌نرمال هستند. مقادیر متوسط و انحراف معیار مقاومت کششی در جدول ۴ نمایش داده شده است.



جدول ۴. مقاومت کششی نمونه‌های گرفته شده از تونل بر حسب مگاپاسگال

شماره نمونه	۱	۲	۳	۴
مقاومت کششی	Ave: 2.1 St.: 0.75	Ave: 11.1 St. 3.1	Ave: 11.9 St. 3.4	Ave: 3.2 St. 0.8
شماره نمونه	۵	۶	۷	۸
مقاومت کششی	Ave: 4.9 St. 2.4	Ave: 13.1 St. 4.1	Ave: 5.7 St. 0.45	Ave: 14.1 St. 3.6
شماره نمونه	۹	۱۰	۱۱	۱۲
مقاومت کششی	Ave: 17 St. 0.78	Ave: 15.5 St. 1.86	Ave: 13 St. 2.8	Ave: 7.65 St. 1.13
شماره نمونه	۱۳	۱۴		
مقاومت کششی	Ave: 1.4 St. 0.66	Ave: 12.8 St. 3.1		
انحراف معیار: Ave, مقدار متوسط: St.				

نمونه‌گیری تصادفی از توابع توزیع دانه‌بندی کانی‌های تشکیل دهنده هر نمونه و مقاومت کششی نمونه‌ها تا جایی ادامه پیدا کرده است که تابع توزیع اندیس شیمازک حاصل شده مستقل از تعداد دفعات نمونه‌گیری باشد. نتایج تحلیل نشان داد با ۲۰۰ نمونه‌گیری تصادفی، پارامترهای تابع توزیع مستقل از تعداد دفعات نمونه‌گیری هستند. تابع توزیع برازش شده بر مقادیر اندیس شیمازک محاسبه شده با سطح اطمینان ۹۵ درصد برای هر نمونه تابع توزیع لاگ‌نرمال است. مقدار متوسط اندیس شیمازک بر اساس تابع توزیع لاگ‌نرمال بر هر نمونه محاسبه و برای تعداد دفعات نمونه‌گیری ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ در جدول ۵ نمایش داده شده است.

جدول ۵: مقدار متوسط اندیس شیمازک محاسبه شده بر اساس تابع توزیع لاگ‌نرمال برای هر نمونه

شماره نمونه	۵۰ نمونه‌گیری	۱۰۰ نمونه‌گیری	۲۰۰ نمونه‌گیری
۱	۰/۰۰۱۲	۰/۰۰۱۲	۰/۰۰۱۳
۲	۰/۴۴۱	۰/۵۵۸	۰/۵۱۷
۳	۰/۰۹۲	۰/۰۹	۰/۰۹
۴	۰/۰۰۱۷	۰/۰۰۱۸	۰/۰۰۱۸
۵	۰/۲۱۹	۰/۲۶۱	۰/۲۵۸
۶	۰/۰۴۱	۰/۰۴۸	۰/۰۴۴
۷	۰/۲۵۹	۰/۲۷۶	۰/۲۷۹
۸	۰/۴۹۱	۰/۴۸۴	۰/۴۹۳
۹	۰/۴۲۱	۰/۴۳۸	۰/۴۱۸
۱۰	۰/۲۸۰	۰/۲۵۷	۰/۲۴۷
۱۱	۰/۵۲۲	۰/۵۱۵	۰/۵۱۱
۱۲	۰/۱	۰/۰۹۸	۰/۱۰۶
۱۳	۰/۰۰۴۹	۰/۰۰۵۲	۰/۰۰۵۲
۱۴	۰/۳۲۱	۰/۳۳۹	۰/۳۱۳

بیشترین مقدار اندیس شیمازک را نمونه شماره ۲ به خود اختصاص داده است که بیش از ۲۰ درصد آن را اپیدوت تشکیل داده است و در رده فوق ساینده قرار می‌گیرد. در سنگ‌های بسیار ساینده استفاده از برش دهنده‌های دیسکی ۱۹ اینچی توصیه می‌شود تا با توجه به طولانی بودن عمر آنها در مقایسه با برش دهنده‌های ۱۷ اینچی، تعداد دفعات تعویض دیسک کمتر شود و به تبع آن زمان مرتبط با تعویض دیسک‌ها کمتر و مقدار ضریب بهره‌وری افزایش پیدا کند. دامنه تغییرات اندیس شیمازک در نمونه‌های آندزیت از ۰/۰۴ تا ۰/۵۲ متغیر است. این سطح از تغییرات اندیس شیمازک برای یک نمونه از سنگ بیانگر این است که توصیف سنگ‌شناسی نمونه‌ها نمی‌تواند معیار دقیقی برای ارزیابی پتانسیل سایش سنگ باشد. کمترین مقدار اندیس شیمازک در نمونه‌های آندزیت مربوط به نمونه شماره ۶ است که اگرچه در مطالعات سنگ‌شناسی این نمونه تحت عنوان آندزیت نامگذاری شده است، ولی بخش عمده این نمونه بر اساس مطالعات پتروگرافی از کلسیت تشکیل شده است. با حذف نمونه شماره ۶ از لیست نمونه‌های آندزیت تغییرات اندیس شیمازک در نمونه‌ها



از ۰/۱ تا ۰/۵۲ خواهد بود که سنگ را در طبقه ساینده تا فوق ساینده قرار می‌دهد. سنگ‌های شیل، توف و آهک اندیس شیمازک زیر ۰/۰۰۵ را تجربه کرده‌اند که بیانگر غیرساینده بودن آنها است. نمونه ماسه‌سنگ با اندیس شیمازک ۰/۲۶ در رده سنگ‌های بسیار ساینده قرار می‌گیرد و حدود ۵۰ درصد آن را کوارتز تشکیل داده است. سنگ‌های بازالت از نظر پتانسیل ساینده‌گی در سطح ساینده قرار می‌گیرند. علت ارزیابی پایین سایش نمونه‌های بازالت ریزدانه بودن و مقادیر پایین پلاژیوکلاز در نمونه‌های مورد ارزیابی است. نکته‌ای که در اندیس شیمازک وجود دارد ارتباط مستقیم میان مقاومت کششی و مقدار اندیس شیمازک است. به عنوان مثال اگر مقاومت نمونه‌های ماسه‌سنگ نصف شود، مقدار اندیس شیمازک نیز نصف می‌شود. دلیل اینکه پتانسیل سایش نمونه‌های ماسه‌سنگ کمتر از نمونه‌های آندزیت ارزیابی شده، این است که مقاومت کششی نمونه‌های ماسه‌سنگ حدود ۵۰ درصد نمونه‌های آندزیت است. لذا ارتباط مستقیم میان پتانسیل ساینده‌گی سنگ و مقاومت کششی در اندیس شیمازک نیاز به بررسی بیشتر دارد.

#### ۶. نتیجه‌گیری

در این پژوهش سعی شده است به جای ارائه یک مقدار مطلق برای اندیس شیمازک، مقدار آن در قالب تابع توزیع ارائه شود تا بتوان میزان مصرف ابزار برش را همراه با سطح اطمینان آن ارائه کرد. لذا به این منظور ابتدا درصد کانی‌های تشکیل دهنده هر مقطع بر اساس آنالیز پتروگرافی تعیین و با توجه به محتوی کوارتز معادل هر کانی، تابع توزیع دانه‌بندی حاصل شده برای هر کانی بر اساس تحلیل تصویری، مقاومت کششی نمونه‌های سنگی که از تابع توزیع نرمال تبعیت می‌کند و نمونه‌گیری تصادفی تابع توزیع اندیس شیمازک برای بخش‌های ابتدایی شمالی و جنوبی تونل انتقال آب صفارود ارزیابی شده است. نتایج تحلیل نشان داد، تابع توزیع اندیس شیمازک، لاگ نرمال است و در صورتیکه تعداد نمونه‌گیری تصادفی بیش از ۲۰۰ نمونه باشد، مقدار متوسط تابع توزیع تغییر معنی‌دار نمی‌کند و این سطح از نمونه‌گیری برای استخراج تابع توزیع کفایت می‌کند. بیشترین مقدار و بیشترین دامنه‌ی تغییرات اندیس شیمازک را نمونه‌های آندزیتی به خود اختصاص داده‌اند و دلیل آن تغییرات زیاد ترکیبات آن با توجه به مطالعات پتروگرافی است و بیانگر این است که توصیف سنگ‌شناسی نمونه‌ها نمی‌تواند معیار مناسبی برای بررسی میزان سایش نمونه‌ها باشد. مقدار سایش نمونه‌های ماسه‌سنگی کمتر از نمونه‌های آندزیتی برآورد شده است که دلیل آن کمبود مقاومت کششی نمونه‌های ماسه‌سنگی است. به عبارت دیگر در صورتیکه که مقاومت کششی نمونه‌های ماسه‌سنگی معادل مقاومت کششی آندزیت بود، نمونه‌های ماسه‌سنگی نیز در سطح فوق ساینده قرار می‌گرفت. لذا تاثیر خطی مقاومت کششی بر روی پتانسیل ساینده‌گی مورد تردید است و نیاز به بررسی بیشتر دارد.

#### منابع

- [1] گزارش ژئوتکنیک تونل انتقال آب صفارود کرمان، ۱۳۹۴. شرکت آب منطقه‌ای کرمان
- [2] Thuro K., Plinninger R. J., 2003. Hard rock tunnel boring, cutting, drilling and blasting: Rock parameters for excavatability, 10th ISRM Congress.
- [3] Ziaei J., Ghadernejad S., Jafarpour A., Mikeail R., 2020. A Modified Schimazek's F-abrasiveness Factor for Evaluating Abrasiveness of Andesite Rocks in Rock Sawing Process, Journal of Mining and Environment, 11(2), 563-575.
- [4] Plinninger R., Käsling H., Thuro K., Spaun G., 2003. Testing conditions and geomechanical properties influencing the CERCHAR abrasiveness index (CAI) value, International Journal of rock mechanics and mining sciences, 40, 259-263.
- [5] Aligholi S., Lashkaripour G. R., Ghafouri M., Azali S. T., 2017. Evaluating the Relationships Between NTNU/SINTEF Drillability Indices with Index Properties and Petrographic Data of Hard Igneous Rocks, Rock Mechanics and Rock Engineering, 50, 2929-2953.
- [6] Zhang G., Thuro K., Konietzky H., Menschik F. M., Käsling H., Bayerl M., 2022. In-situ investigation of drilling performance and bit wear on an electrical drill hammer, Tunnelling and Underground Space Technology, 122, 104348.
- [7] Rajati M. H., Rostami J., Memarian H., Hamzaban M. T., 2023. A study on predicting the wear of TBM disc cutters using Cerchar testing, Tunnelling and Underground Space Technology, 140, 105290.





- [8] She L., Zhang S. R., Wang C., Li Y. L., Du M., 2023. A new method for wear estimation of TBM disc cutter based on energy analysis, *Tunnelling and Underground Space Technology*, 131, 104840.
- [9] Hassanpour J., Rostami J., Azali S. T., Zhao J., 2014. Introduction of an empirical TBM cutter wear prediction model for pyroclastic and mafic igneous rocks; a case history of Karaj water conveyance tunnel, Iran, *Tunnelling and Underground Space Technology*, 43, 222-231.