

# بررسی ارتباط بین میزان سایش و بافت سنگ در نمونه هایی از سنگهای ساختمانی ایران

گلپیرا علمی اسدزاده

فارغ التحصیل کارشناسی ارشد دانشکده مهندسی معدن - پردیس دانشکده های فنی - دانشگاه تهران

[golpira.elmi@gmail.com](mailto:golpira.elmi@gmail.com)

حسین معاریان

دانشیار دانشکده مهندسی معدن - پردیس دانشکده های فنی - دانشگاه تهران

[memarian@ut.ac.ir](mailto:memarian@ut.ac.ir)

(تاریخ دریافت ۸۳/۱۰/۲۰، تاریخ دریافت روایت اصلاح شده ۸۴/۴/۱۱، تاریخ تصویب ۸۴/۷/۱۶)

## چکیده

انتخاب تجهیزات برش متناسب با خصوصیات مواد سنگی، باعث کاهش هزینه های عملیات می شود. از این رو لازم است تا قبل از انتخاب و به کارگیری ماشین حفاری یا برش، میزان سایش سنگ به دست آید. انجام آزمایشهایی مانند تعیین مقاومتهای فشاری، خمشی، سایشی و سختی سایش سورشار برای بررسی رفتار سنگها در برابر ساییده شدن، پیشنهاد شده است. این در حالی است که نقش خصوصیات پتروگرافیکی، مثل بافت سنگ، به خوبی بررسی نشده است. مدلهایی که منحصر درجه سیمان شدگی و میزان کوارتز سنگ را معیار قرار می دهند، چون خصوصیات ترکیبی و بافتی سنگ را در نظر نمی گیرند، از ارائه درجه سایندگی آن عاجزند. در این مطالعه، تأثیر خصوصیات بافتی و ترکیبی سنگ و مدلهای ضریب بافت، بر قابلیت برش و سایش سنگ، مورد بررسی قرار گرفته است. به این منظور نمونه هایی از ۵ گروه سنگهای ساختمانی ایران (تراورتن، سنگ چینی، دولومیت، مرمریت و گرانیت)، مورد آزمایش سختی سایشی سورشار قرار گرفت و ضریب بافت آنها تعیین شد. بررسی حاضر نشان می دهد که اندیس سایش سورشار نمی تواند رابطه مناسبی را در هریک از گروههای سنگی، بین سختی سنگ و بافت آن، به دست دهد. این در حالی است که رابطه نسبتاً خوبی بین میانگین ضریب بافت و میانگین اندیسهای سایش سورشار وجود دارد.

**واژه های کلیدی:** اندیس سایش سورشار، ضریب بافت، سنگ ساختمانی، ایران

## مقدمه

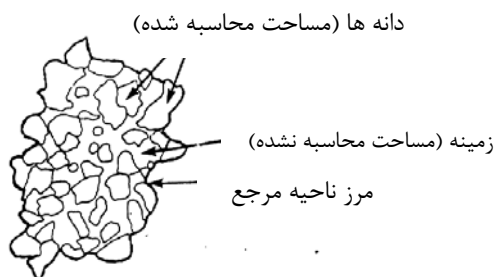
ژئوتکنیکی منظور نموده است. اندیس سایش سورشار یکی از ملاکهایی است که جهت تعیین میزان سایش ابزار حفاری به کار رفته و مقبولیت نسبی جهانی نیز به دست آورده است. در مطالعه حاضر نیز از دستگاه سایش سورشار، که برای اولین بار در کشور در دانشکده فنی دانشگاه تهران ساخته شده است، استفاده گردیده است. در این تحقیق نقش بافت سنگ در سایش ابزار حفاری بررسی شده و پس از کمی کردن بافت سنگ، ارتباط ضریب بافت سنگ با اندیس سایش سورشار، در نمونه هایی از سنگهای ساختمانی ایران، مورد بحث قرار گرفته است.

## نمونه های مورد بررسی

به منظور بررسی رابطه بافت سنگ و سایش ابزارهای برش و حفاری، نمونه هایی از سنگهای ساختمانی مناطق مختلف کشور انتخاب گردید. در این رابطه نمونه های

سایش سرمته ها و دیگر ابزارهای حفاری هزینه بسیاری را به پروژه های عمرانی و معدنی تحمیل می کند. با توجه به اینکه حفاری در مناطق مختلف در سنگهای متفاوتی انجام می شود، تهیه ملاکهایی جهت تعیین میزان سایش سنگهای مختلف، به منظور انتخاب سرمته مناسب، ضروری است. از آنجایی که عوامل متنوعی در میزان سایش ابزارهای حفر و برش مؤثر می باشد، تا کنون فعالیتهای بسیار زیادی در سطح دنیا جهت تعیین این عوامل انجام شده است. زمین شناسان معمولاً از مقیاس سختی موس استفاده می کنند. متالورژها سختی راک ول<sup>۱</sup> و برینل<sup>۲</sup> را به کار می گیرند. در بررسی های ژئوتکنیکی نیز معیارهای مختلفی به کار گرفته می شود. در ایران، سازمان مدیریت و برنامه ریزی، میزان کوارتز سنگ را به عنوان معیاری جهت تخمین میزان سایندگی سنگ، در فهرست بهای خدمات

هر یک از دانه ها پارامترهایی چون محیط دانه، مساحت دانه، بیشینه قطر فرت<sup>۴</sup>، کمینه قطر فرت<sup>۵</sup> و مساحت ناحیه مرجع، اندازه گیری گردید. برای محاسبه بیشینه و کمینه قطر فرت، فاصله دو خط موازی مماس بر هر دانه در چندین جهت مختلف اندازه گیری شد (شکل ۲)، و در نهایت بزرگترین و کوچکترین این فواصل به عنوان قطر فرت بیشینه و کمینه، در نظر گرفته شدند.



شکل ۱: نحوه انتخاب ناحیه مرجع [۲].

پس از اندازه گیری مشخصات بلورها، ضریب بافت<sup>۶</sup> از رابطه زیر محاسبه گردید [۱]:

$$TC = AW \times \left[ \left( \frac{N_0}{N_0 + N_1} \times \frac{1}{FF_0} \right) + \left( \frac{N_0}{N_0 + N_1} \times AR_1 \times AF_1 \right) \right] \quad (1)$$

که در آن:

TC: ضریب بافت

AW: وزن مساحت<sup>۷</sup> (چگالی دانه ها)

$N_0$ : تعداد دانه های با نسبت وجه کمتر از ۲

$N_1$ : تعداد دانه های با نسبت وجه بیشتر از ۲

$FF_0$ : میانگین حسابی فاکتور شکل تمام دانه های  $N_0$

$AR_1$ : میانگین حسابی نسبت وجه دانه های  $N_1$

$AF_1$ : جهت یافتگی فاکتور زاویه که برای تمام

دانه های  $N_1$  محاسبه شده است.

"نسبت وجه"<sup>۸</sup> از تقسیم ماکزیمم طول یا قطر فرت به

مینیمم قطر یا پهنا فرت به دست می آید. وزن مساحت

به صورت زیر تعریف شده است [۱]:

$$AW = \frac{\text{مساحت دانه های درون مرز ناحیه مرجع}}{\text{مساحت ناحیه مرجع}} \quad (2)$$

سنگهای آذرین مثل گرانیت، سنگهای دگرگونی مثل مرمر و سنگهای رسوبی مانند سنگ آهک و تراورتن، گردآوری شده توسط وزارت صنایع و معادن و مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، مورد بررسی قرار گرفت. از ۲۹ نمونه مورد مطالعه، ۳ نمونه گرانیت، ۵ نمونه مرمریت، ۴ نمونه تراورتن، ۱۰ نمونه سنگ چینی و ۷ نمونه دولومیت بوده است. نام معادلی که هر یک از نمونه های سنگ ساختمانی از آنها اخذ شده است در جدول (۱) آمده است. پیش نیاز ایجاد رابطه بین ضریب بافت و سایش سنگ شناسایی کانی ها و بافت نمونه ها است. به همین منظور، جهت مطالعه کانی شناسی میکروسکوپی نمونه ها، تیغه های نازک آنها مورد بررسی قرار گرفت. در جدول (۱) شرح مطالعات میکروسکوپی و نام کانیهای اصلی و فرعی هر یک از نمونه ها آورده شده است.

## اندازه گیری و محاسبه ضریب بافت سنگها

به منظور محاسبه ضریب بافت سنگ، به عنوان پارامتری کمی در شناخت بافت سنگهای مختلف، پس از تهیه تیغه های نازک، با استفاده از یک میکروسکوپ پلاریزان با نور عبوری، از هر یک از تیغه های نازک عکس گرفته شد. این عکسها سپس توسط یک اسکنر با قدرت بزرگنمایی بالا، اسکن شدند. سایر مطالعات مربوط به محاسبه ضریب بافت خارج از میکروسکوپ و به طور دستی و یا توسط کامپیوتر صورت گرفت. به منظور اندازه گیری پارامترهای هندسی دانه های موجود در سنگ نیز نرم افزار اتوکد استفاده شد.

در مرحله بعد، هر یک از عکسها به صورت رقومی در آمدند. جهت رقومی کردن عکسها ابتدا لایه ای به نام لایه ناحیه مرجع<sup>۳</sup> انتخاب گردید. ناحیه مرجع محدوده ای است که در آن تنها دانه های کامل قرار می گیرند و دانه های ناقص که قسمتی از آنها از عکس بیرون است را شامل نمی شود. شکل (۱) یک ناحیه مرجع نمونه وار را نشان می دهد. در لایه ای دیگر مرز دانه ها بر روی تصویر اصلی رسم گردید و سپس دانه ها شماره گذاری شد. لازم به ذکر است که تعداد دانه ها به صورتی انتخاب گردید که بتوان آنها را به عنوان یک نمونه معرف از کل دانه های مقطع نازک تلقی کرد. برای

جدول ۱: شرح مطالعات میکروسکوپی و نام کانیهای اصلی و فرعی هر یک از نمونه ها.

نمونه	جنس و معدن	استان	کانیهای اصلی	کانیهای فرعی	شرح مطالعات میکروسکوپی
m1	مرمریت بازبنده نایب	اصفهان	کلسیت، دولومیت	کوارتز	کربنات متبلور دولومیتی با بافت پرفیروتاپیک
m2	مرمریت حسین آباد خور بیابانک	اصفهان	کلسیت، دولومیت	کوارتز	پکستون دولومیتی با بافت پرفیروتاپیک درارای آلوم (با اندازه تا ۲ میلی متر)
m5	مرمریت مجتمع معدنی گاوشان	کردستان	کلسیت	دولومیت، کوارتز	مادستون پرفیروتاپیک پنهان بلور
c3	مرمریت نور به سر قروه	کردستان	دولومیت	کلسیت	کربنات متبلور دولومیتی پرفیروتاپیک درشت بلور
c4	مرمریت شانه وره ۲	کردستان	دولومیت	کلسیت	کربنات متبلور دولومیتی درشت بلور با بافت گرانوتاپیک
c10	مرمر کوئیک	کردستان	کلسیت	-	کربنات متبلور موزائیکی (اندازه بلورها تا ۲۰۰ میکرون) فاقد آلوم
c2	سنگ چینی بادباد غربی	لرستان	کلسیت	کانی کدر	کربنات متبلور با بافت گرانوتاپیک، درشت دانه
c1	سنگ چینی جوشان ۲	لرستان	کلسیت	دولومیت	کربنات متبلور با بافت گرانوتاپیک درشت دانه (اندازه بلورها حدود ۶۰۰ میکرون)
d7	سنگ چینی مغانک	لرستان	کلسیت	دولومیت	کربنات متبلور با بافت پرفیروتاپیک، درشت دانه
d1	مرمریت گوهره درب چاه شرقی ۱	لرستان	کلسیت	دولومیت، مارن	کربنات متبلور دارای بافت پرفیروتاپیک ریز بلور
c6	سنگ چینی یوسف کوه غربی	لرستان	کلسیت	دولومیت، مارن	کربنات متبلور دارای بافت پرفیروتاپیک ریز بلور
d2	مرمریت گوهره درب چاه غربی	لرستان	کلسیت	دولومیت، مارن	کربنات متبلور دارای بافت پرفیروتاپیک ریز بلور
c5	سنگ چینی مجتمع معدنی الیگودرز	لرستان	کلسیت	دولومیت	کربنات متبلور، با بافت پرفیروتاپیک (اندازه بلورها حدود ۳۰۰ میکرون)
d3	مرمریت گوهره نرگسه جنوبی	لرستان	کلسیت	دولومیت، رس	کربنات متبلور دارای بافت پرفیروتاپیک ریز بلور
d4	مرمریت گوهره سفیدکوه شرقی	لرستان	کلسیت، دولومیت	مارن	کربنات متبلور دولومیتی دارای بافت پرفیروتاپیک، اندازه بلورها تا ۵۰۰ میکرون
d6	مرمریت گوهره سفیدکوه غربی	لرستان	کلسیت	دولومیت، رس و کانیهای کدر	کربنات متبلور دارای بافت پرفیروتاپیک ریز بلور، دارای آلوم
c7	سنگ چینی ده زیارت شرقی	لرستان	کلسیت	دولومیت، مارن	کربنات متبلور با بافت گرانوتاپیک - درشت دانه
t4	تراورتن باقر آباد	مرکزی	کلسیت، آراگونیت	دولومیت	کربنات متبلور با بافت گرانوتاپیک
t2	تراورتن دره بخاری	مرکزی	کلسیت، آراگونیت	-	کربنات متبلور پرفیروتاپیک
t3	تراورتن قرمز گل چشمه	مرکزی	کلسیت، آراگونیت	کانیهای رس و آهن دار	کربنات متبلور با بافت پروفیروتاپیک مخفی بلور (اندازه بلور تا ۱۰۰ میکرون)
c9	سنگ ابری توان دشت ۲	مرکزی	کلسیت	سیلیکات دگرگونی	کربنات متبلور با بافت گرانوتاپیک
c8	سنگ ابری توان دشت ۱	مرکزی	کلسیت	سیلیکاتها، کانیهای کدر	کربنات متبلور با بافت گرانوتاپیک

m4	مرمریت سفیدکوه	قم	کلسیت	اکسیدهای آهن	گرینستون پرفیریک دارای آلوم به اندازه ۵۰۰ میکرون
g3	گرانیت ونارچ	قم	فلدسپات پتاسیک، پلاژیوکلاز، پیروکسن، آمفیبول	منیتیت، اسفن	میکرودیوریت متبلور ریز بلور
d5	مرمریت عظیمی	یزد	کلسیت	دولومیت	گرینستون مخفی بلور دارای تراکم آلوم (سایز ۲ تا ۳ میلی متر)
m3	مرمریت بیشه در ده آباد یزد	یزد	کلسیت	دولومیت	وکستون پرفیروتاپیک مخفی بلور دارای آلوم با سایز ۳۰۰ میکرون
g1	گرانیت سبز قلعه خرگوش	یزد	کوارتز پلاژیوکلاز، فلدسپات پتاسیک	پیروکسن، آمفیبول، بیوتیت	لاتیت میکروپورفیری تمام بلورین خیره ریزدانه
t1	تراورتن حجت آباد	یزد	کلسیت	دولومیت	کربنات متبلور پرفیروتاپیک دارای ارتوکم
g2	گرانیت خلیفه لو	زنجان	فلدسپات پتاسیک، پلاژیوکلاز، کوارتز	آمفیبول، بیوتیت	کوارتز سینیت تمام بلورین دانه درشت

دراز شدگی شکل و یا افزایش ناصافی سطح نمونه. فاکتور شکل یا فاکتور کشیدگی دانه از فرمول ۳ محاسبه می‌شود [۱]:

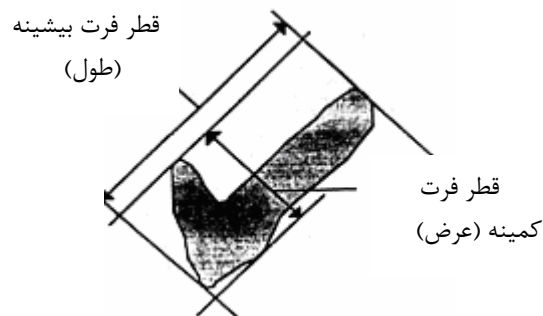
$$A = \frac{(\text{محیط})^2}{4 \pi (\text{مساحت})} \quad (3)$$

جدول ۲: روش وزن دهی به تفاوت‌های زاویه ای دانه های کشیده [۱].

ردیف	دامنه	وزن (i)
۱	$0 < \theta_{D_{MAX}} \leq 10$	۱
۲	$10 < \theta_{D_{MAX}} \leq 20$	۲
۳	$20 < \theta_{D_{MAX}} \leq 30$	۳
۴	$30 < \theta_{D_{MAX}} \leq 40$	۴
۵	$40 < \theta_{D_{MAX}} \leq 50$	۵
۶	$50 < \theta_{D_{MAX}} \leq 60$	۶
۷	$60 < \theta_{D_{MAX}} \leq 70$	۷
۸	$70 < \theta_{D_{MAX}} \leq 80$	۸
۹	$80 < \theta_{D_{MAX}} \leq 90$	۹

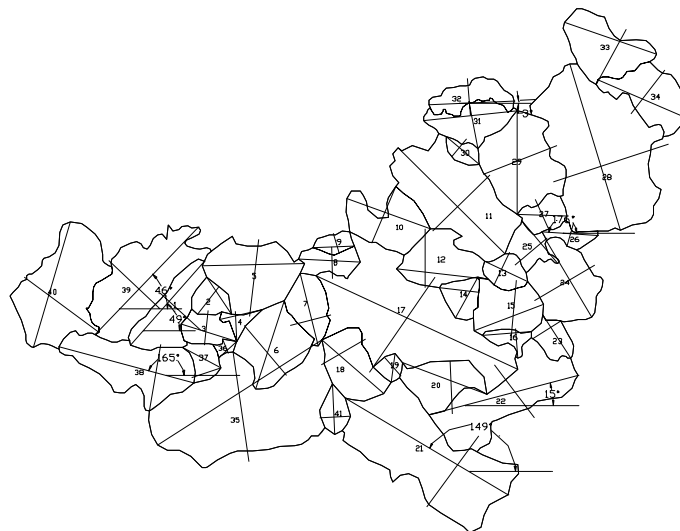
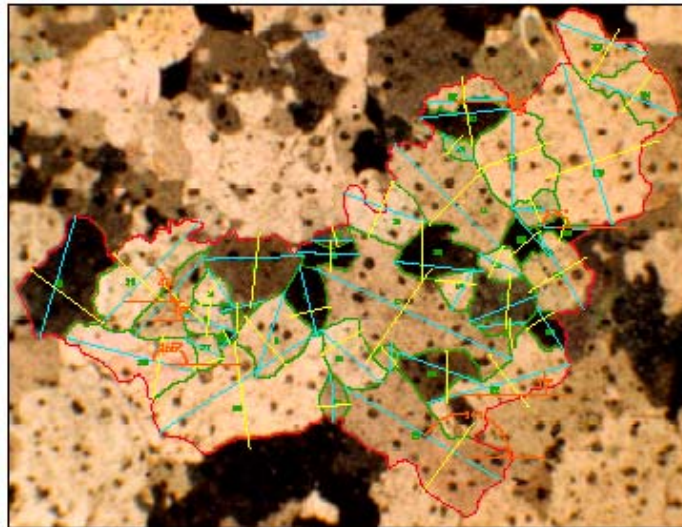
شکل (۳) نحوه اندازه گیری بیشینه و کمینه قطر فرت را در یک نمونه واقعی نمایش می دهد. محیط و مساحت هر یک از این دانه ها نیز اندازه گیری شده است. برای هر یک از نمونه ها به طور متوسط ۳۵ دانه مورد اندازه گیری قرار گرفته است. مفهوم فاکتور زاویه عبارتست از زاویه بین ماکزیمم قطر فرت (طول) و جهت افق. ماکزیمم مقدار زاویه ۱۸۰ درجه است. جهت یافتگی زاویه دانه ها توسط کمی کردن فاکتور زاویه به دست می آید.

پس از منتقل کردن عکسها به نرم افزار اتوکد و رسم مرزهای دانه ها، محیط و مساحت هر یک از دانه ها با دستور ساده ای بدست آمد. برای محاسبه بیشینه و کمینه قطر فرت در اتوکد، فاصله دو خط موازی مماس بر هر یک از دانه ها در چندین جهت مختلف اندازه گیری شد و در نهایت بزرگترین و کوچکترین این فواصل به عنوان قطر فرت بیشینه و کمینه در نظر گرفته شدند.



شکل ۲: نحوه اندازه گیری قطر فرت بیشینه و کمینه در یک دانه [۱].

پس از منتقل کردن نتایج مربوط به همه دانه ها به نرم افزار اکسل محاسبات مربوط به اندازه گیری نسبت وجه، "فاکتور شکل"<sup>۹</sup>، "فاکتور زاویه"<sup>۱۰</sup> و در نهایت ضریب بافت انجام گرفت. فاکتور شکل معرف انحراف دانه از حالت گرد بودن است. این انحراف، به دو صورت به وجود می آید:



شکل ۳: نحوه اندازه گیری پارامترهای هندسی سنگ در نمونه تراورتن معدن حجت آباد. تعیین ناحیه مرجع در داخل میدان دید و مشخص نمودن قطرهای بیشینه و کمینه فرت.

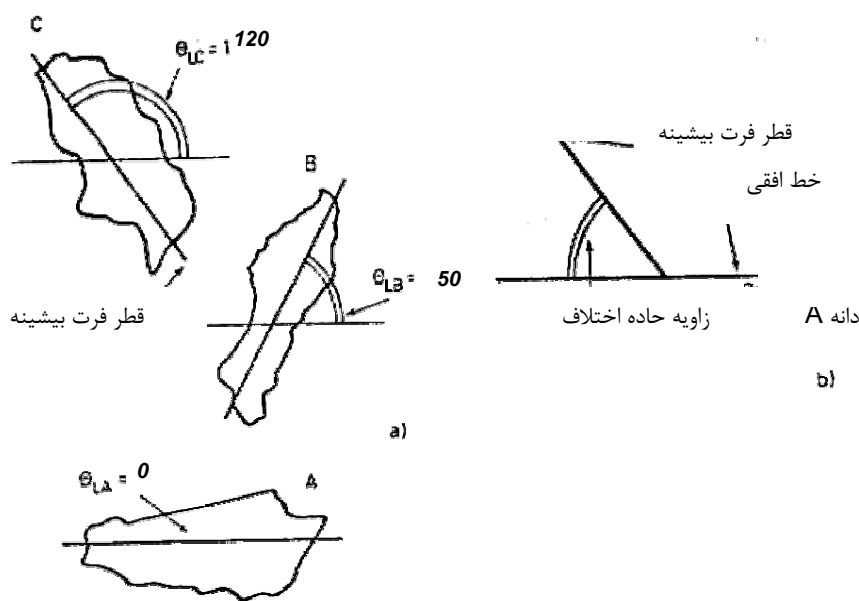
$N$ : کل تعداد دانه های کشیده و طویل  
 $X_i$ : شماره تفاوت زاویه ای در هر کلاس  
 $i$ : فاکتور وزن دهی و شماره کلاس، می باشند.  
 برای درک بهتر از انحراف فاکتور زاویه ای یک مثال در شکل (۴) آورده شده است.  
 در این شکل سه دانه کشیده (A, B, C) وجود دارد ( $N=3$ ). جهت یافتگی دانه از حالت افقی، برای هر یک از دانه ها برابر است با A(0)، B(50) و C(120). بنابراین خواهیم داشت:

$$\begin{aligned} |\theta_{DMAXA} - \theta_{DMAXB}| &= |0^\circ - 50^\circ| = 50^\circ \\ |\theta_{DMAXA} - \theta_{DMAXC}| &= |0^\circ - 120^\circ| = 120^\circ \\ |\theta_{DMAXB} - \theta_{DMAXC}| &= |50^\circ - 120^\circ| = 70^\circ \end{aligned}$$

این فاکتور، فقط برای دانه های کشیده و طویل، که در آنها نسبت وجه بیشتر از ۲ می باشد، محاسبه می گردد. فاکتور زاویه  $AF_1$  توسط سیستم وزن دهی موجود در جدول (۲) طبقه بندی شده است. این سیستم تفاوت زاویه بین همه دانه های کشیده را با دقت و به طور مطلق محاسبه می نماید.  
 تفاوت زاویه ای در ۹ کلاس مختلف دسته بندی می شوند، برای هر کلاس یک وزن وجود دارد. فاکتور زاویه از جمع کلاسها و تقسیم آنها بر کل اعداد زاویه ای محاسبه می شود [۱]:

$$AF_1 = \sum_{i=1}^n \left[ \frac{X_i}{N(N-1)} \right] i \quad (۴)$$

که در آن :



شکل ۴: نحوه اندازه گیری زاویه در دانه های کشیده و طولی [۱].

انستیتوی تحقیقات معدنکاری زغال فرانسه معرفی شد. این اندیس با ساییده شدن و خراش نوک تیز یک میله (پین) فلزی بر روی یک سطح سنگی تازه، به دست می آید. این پین فولادی از نوع فولاد قابل عملیات حرارتی آلیاژ ۴۱۴۰H در استاندارد AISI می باشد که در طی یک فرآیند عملیات حرارتی به مقاومت ۶۱۰ ویکرز رسیده است. نوک این پین فولادی با زاویه مخروط  $90^\circ$  به حداکثر تیزی رسیده است [۸].

برای تعیین اندیس سایش سورشار کلیه نمونه های مورد بررسی، مراحل زیر انجام گرفت. به منظور ایجاد سطحی تازه و بدون هوازدگی، نمونه شکسته شد، به نحوی که قطعه باقی مانده از نمونه قابل نصب در گیره باشد. پس از اتصال میله فولادی به وزنه هفت کیلوگرمی و محکم نمودن پیچ مربوطه نوک تیز میله فولادی بر روی قطعه سنگ قرار داده شد. دسته دستگاه برای ایجاد یک سانتی متر خراش در مدت ۱ ثانیه کشیده شد [۳]. پس از ایجاد خراش قطر سطح ساییده شده بر روی میله فولادی در زیر میکروسکوپ قرائت گردید. برای انجام این قرائت از میکروسکوپ Lietz با لنز WETZIAR / 215 و با بزرگنمایی ۱۶۰ برابر استفاده شده است. این میکروسکوپ دارای خط کشی مدرج به اندازه هر درجه معادل  $0.058$  میلی متر می باشد. میله فولادی جهت قرائت به حالت عمودی در زیر میکروسکوپ نصب می شود. سپس از ضرب

تفاوت زاویه ای یکتا می تواند از طریق کسر عدد ۱۸۰ از هر تفاوت زاویه ای مطلق بزرگتر از  $90^\circ$  به دست آید. بنابراین نتیجه نهایی عبارتست از:

$$|\theta_{DMAXA} - \theta_{DMAXB}| = 50^\circ$$

$$|\theta_{DMAXA} - \theta_{DMAXC}| = |120^\circ - 180^\circ| = 60^\circ$$

$$|\theta_{DMAXB} - \theta_{DMAXC}| = 70^\circ$$

که در آن  $\theta_{DMAX}$ : زاویه بین بیشینه قطر فرت و خط افقی می باشد.

در نتیجه فاکتور زاویه ای از رابطه ۴ به صورت زیر محاسبه می گردد:

$$\sum (1/3 \times 5) + (1/3 \times 6) + (1/3 \times 7) = 6$$

فاکتور زاویه ای به دست آمده بر ۵ تقسیم می شود، تا اینکه از نظر عددی مشابه با سایر فاکتورها شده و ضریب بافت را خیلی تحت تأثیر قرار ندهد. [۱]

لازم به تذکر است که اگر مقدار عددی فاکتور زاویه ای از سایر فاکتورهای مورد استفاده در محاسبه ضریب بافت بیشتر باشد، در محاسبه ضریب بافت نقشی کاذب خواهد داشت.

در نتیجه:

$$AF_1 = 6/5 = 1.2$$

### آزمایش تعیین اندیس سایش سورشار

آزمایش اندیس سایش سورشار<sup>۱۱</sup> اولین بار از سوی

همانگونه که پیشتر ذکر شد، بررسی ها بر روی ۵ گروه سنگ ساختمانی (گرانیت، سنگ چینی، تراورتن، مرمریت و دولومیت) صورت گرفته است. در هر گروه حداقل ۳ و حداکثر ۸ نمونه مورد بررسی قرار گرفته است. همچنانکه در این شکل نشان داده شده است، با توجه به جدول (۳) دو نمونه سنگ چینی c3 و c8 دارای اندیس سایش سورشار متفاوت از سایر نمونه ها می باشند. به جز این دو نمونه، ۷ نمونه دیگر از نظر مقدار به هم نزدیک می باشند.

عدد قرائت شده در عدد ۱۰ اندیس سایش سورشار محاسبه گردید [۹].

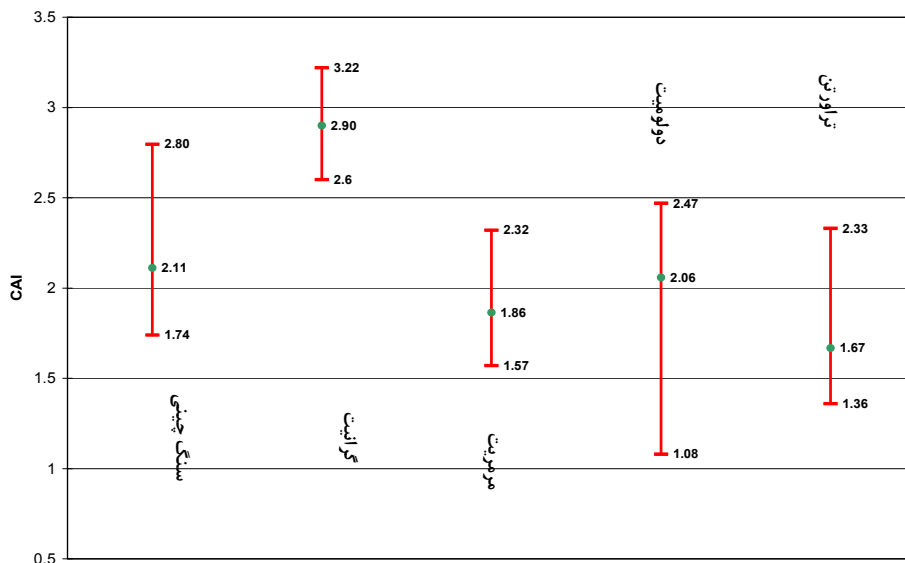
### نتایج به دست آمده از آزمایشها

جدول (۳) خلاصه نتایج آزمایشهای انجام شده را نشان می دهد. با توجه به این نتایج می توان دامنه تغییرات و میانگین مقادیر اندیس سایش سورشار و همچنین ضریب بافت سنگ را در گروههای مختلف سنگی به دست آورد. (شکلهای ۵ و ۶).

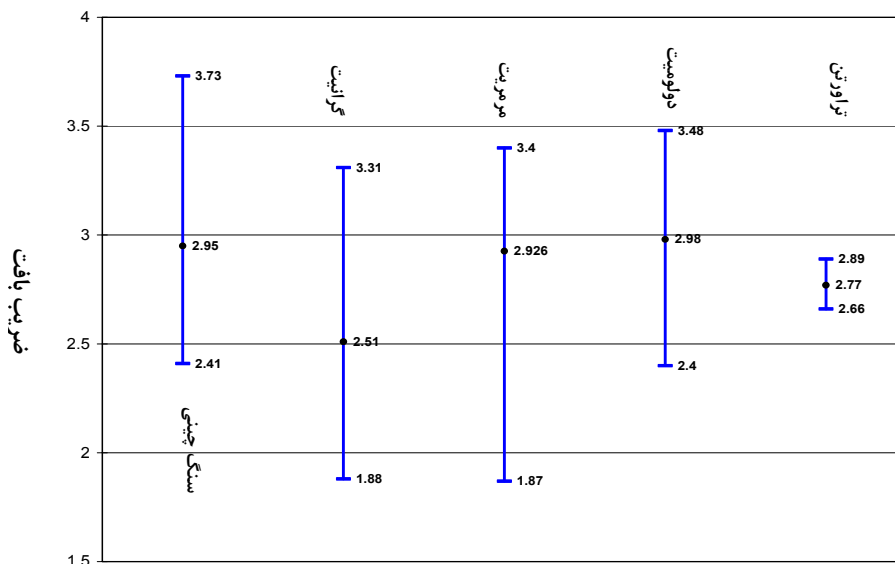
جدول ۳: نتایج آزمایشهای انجام شده بر روی نمونه ها.

کد نمونه	مقاومت سایشی (Hardness)	مقاومت خمشی (MPa)	مدول گسیختگی (MPa)	مقاومت فشاری (MPa)	جذب آب (%)	چگالی ( $kg/m^3$ )	ضریب بافت	اندیس سایش سورشار (CAI)
c1	19.6	-	6.6	62.8	0.05	2.69	5.02	1.97
c2	23.6	0.5	5.8	84.6	0.07	2.68	3.28	1.74
c3	19	6.8	5.5	160.8	0.09	2.83	2.68	3.37
c4	18.6	12.4	13.1	120.7	0.12	2.83	2.72	2.12
c5	22.3	10.1	19.4	105.5	0.07	2.69	2.81	2.15
c6	24.5	14.2	15	96.9	0.06	2.73	3.73	2.12
c7	18.8	10.1	4.2	85.9	0.04	2.69	3.34	1.86
c8	20.5	13.9	16.5	93.8	0.08	2.71	2.55	2.8
c9	21.4	9.9	10.6	113.2	0.05	2.74	3.03	2.3
d1	24.6	12.4	16.4	139.5	2.06	2.59	3.48	1.91
d2	22.1	6.5	17.9	172.7	1.45	2.64	3.19	2.33
d3	25.4	8	23.5	202.9	1.19	2.68	2.92	2.47
d4	37.7	14.8	19.4	188.5	0.95	2.62	3.26	1.08
d5	37.7	14.8	16.2	134.8	0.81	2.64	2.4	1.98
d6	26.7	12.4	19.4	153.1	1.97	2.61	3.19	2.43
d7	20.3	6.7	13.2	87.9	0.06	2.7	2.42	2.21
g1	51.3	17.2	17.6	167.9	0.33	2.7	1.88	2.87
g2	61.5	10.2	10.5	119.5	0.57	2.61	3.31	3.22
g3	62.1	18.4	19.9	151.9	0.52	2.76	2.35	2.6
m1	40.4	14.3	15.45	92.5	0.09	2.69	3.29	1.77
m2	28.7	11.1	9.4	131.2	0.16	2.69	3.37	2.32
m3	24.2	5.6	5.1	8.09	0.21	2.68	3.4	1.63
m4	32.7	8.2	11.6	110.9	0.43	2.67	2.7	1.57
m5	21.2	8.4	9.6	91.6	0.06	2.7	1.87	2.03
t1	9	9.3	18.4	41.2	0.65	2.53	2.76	2.33
t2	15.1	11.2	11.7	46.8	1.42	2.43	2.89	1.5
t3	15.3	9.8	11.1	58.8	1.88	2.49	2.66	1.36
t4	13.8	9	11.4	68.4	1.57	2.45	2.77	1.48
c10	15	10.1	15.6	52.7	1.46	2.4	2.41	1.93

\* آزمایشهای مقاومت سایشی، مقاومت خمشی، مدول گسیختگی، مقاومت فشاری، جذب آب و وزن مخصوص در مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن انجام شده است.



شکل ۵: دامنه تغییرات و میانگین مقادیر اندیس سایش سورشار در گروه‌های مختلف سنگی.



شکل ۶: مقادیر بیشینه و کمینه و همچنین مقدار میانگین ضریب بافت در گروه‌های سنگی مختلف.

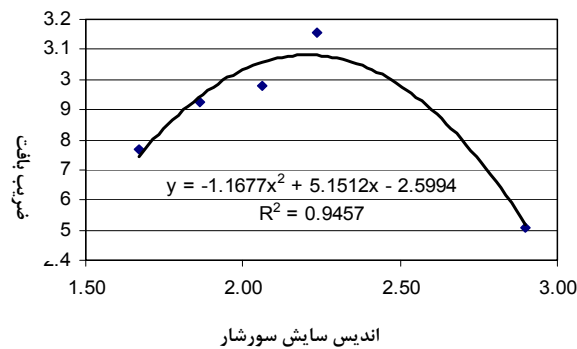
در سنگ‌های دولومیتی نیز، به استثنای نمونه d4 مقادیر اندیس سایش سورشار بقیه نمونه‌ها کم و بیش نزدیک به هم می‌باشد. میانگین سایش سورشار سایر دولومیتها پس از حذف این نمونه برابر با ۲/۲۲ می‌باشد. علت پایین بودن میزان سایش در نمونه d4 توسط مطالعات میکروسکوپی و ماکروسکوپی مشخص نشد و احتمالاً خطای آزمایش در این میان مؤثر بوده است.

مقادیر اندیس سایش سورشار برای ۳ نمونه گرانیات نشان می‌دهد که کمترین مقدار اندیس سایش ۲/۶۰ و بیشترین مقدار اندیس سایش ۳/۲۲ می‌باشد. با توجه به مطالعات

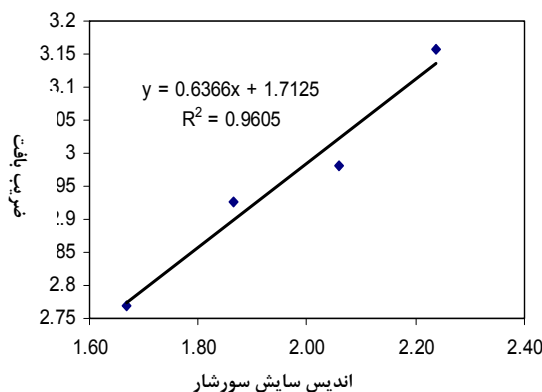
با توجه به مطالعات ماکروسکوپی و میکروسکوپی می‌توان دریافت که نمونه c3 با اندیس سایش ۳/۳۷ دارای دانه بندی بسیار ریز می‌باشد به طوریکه دانه‌های آن با چشم غیر مسلح دیده نمی‌شوند. از طرف دیگر سختی موس این نمونه از سایر نمونه‌ها بیشتر است بنابراین اندیس سایش سورشار بالایی برای آن به دست آمده است. در مورد نمونه c8 می‌توان گفت که سطح شکست بسیار ناهموار آن باعث افزایش اندیس سایش سورشار شده است. میانگین سایش سورشار ۷ نمونه سنگ چینی ۲/۱۱ است.



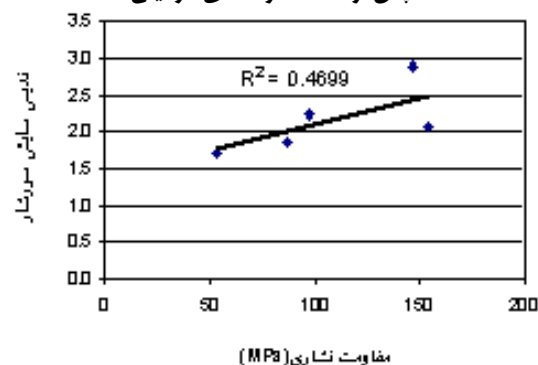
متفاوت می باشد. از طرفی دیگر، بین میانگین ضریب بافت و میانگین اندیس سایش در گروههای مختلف به علت تعدیل پراکندگی های موجود در هر گروه می توان رابطه ای به دست آورد. شکل (۷) رابطه میانگین ضریب بافت و میانگین اندیس سایش سورشار را نشان می دهد. همانطور که در شکل (۷) مشاهده می شود، میانگین مقادیر ضریب بافت سنگ و میانگین مقادیر اندیس سایش سورشار همبستگی قوی از مرتبه دو دارند.



شکل ۷: رابطه میانگین ضریب بافت و میانگین اندیس سایش سورشار.



شکل ۸: رابطه میانگین ضریب بافت و میانگین اندیس سورشار پس از حذف نمونه های گرانیتهی.



شکل ۹: بررسی رابطه بین فشاری گروه های نمونه مورد بررسی با اندیس سایش سورشار.

ماکروسکوپی و میکروسکوپی ملاحظه شد که دو نمونه g2 و g4 دارای کوارتز و در نتیجه دارای سختی بالاتر و دو نمونه g1 و g3 فاقد کوارتز و در نتیجه دارای سختی پایین تر می باشند، از این روست که مقادیر اندیس سایش سورشار مربوط به نمونه های g2 و g4 بالاتر از دو نمونه دیگر به دست آمده است. لازم به تذکر است که گرانیته، عنوان تجاری سنگها بوده و با نام علمی سنگ متفاوت است (ر.ک. جدول ۱).

در شکل (۵) مقادیر بیشینه و کمینه و همچنین مقدار میانگین اندیس سایش سورشار برای ۵ نوع سنگ ساختمانی مختلف رسم شده است. همانطور که مشاهده می شود، دامنه مقادیر اندیس سایش سورشار برای سنگ های مختلف متفاوت است. در این میان دولومیتها از دامنه نسبتا بالاتری برخوردار هستند.

دلیل بالا بودن این دامنه در دولومیتها وجود مقادیر متفاوتی از رس در این سنگها می باشد. بالاترین و پایین ترین مقدار میانگین به ترتیب مربوط به گرانیتهها (۲/۹۰) و تراورتن ها (۱/۶۷) است.

با توجه به جدول (۳) مقادیر ضریب بافت نیز، در تمامی گروههای سنگی نسبتاً مشابه هم می باشند.

در این میان تنها نمونه c1 در گروه سنگهای چینی استثنا می باشد که علت آن کم بودن تعداد دانه های کشیده و در نتیجه افزایش نسبت  $N0/(N0+N1)$  در رابطه ۱ و افزایش ضریب بافت می باشد. در شکل (۶) مقادیر بیشینه و کمینه و همچنین مقدار میانگین ضریب بافت برای ۵ نوع سنگ ساختمانی مختلف رسم شده است. همانطور که مشاهده می شود، تراورتنها نسبت به سایر گروههای سنگی از دامنه محدودتری برخوردارند.

در ادامه مطالعه، نمونه های c3، c8 و d4 از محاسبات حذف گردید.

## رابطه ضریب بافت سنگ و اندیس سایش سورشار

بررسی حاضر نشان می دهد که رابطه مستقیمی میان ضریب بافت سنگ و اندیس سایش سورشار در هر گروه به طور جداگانه وجود ندارد، زیرا تغییرات سختی و جنس کانیها در درزه ها و ترکهای موجود در سنگ، درصد هوازدگی کانیهای سنگ و غیره در هر گروه بسیار

می توان رابطه میان میانگین مقاومت سایشی نمونه ها را با میانگین مقادیر اندیس سایش سورشار آنها به دست آورد. شکل (۱۱) درجه همبستگی این دو پارامتر را نشان می دهد (۰/۷۸).

### نتیجه گیری و پیشنهادات

نتیجه آزمایشها و بررسیهای حاضر را به نحو زیر می توان خلاصه کرد:

- رابطه ای میان ضریب بافت سنگ و اندیس سایش سورشار در هر گروه از سنگهای ساختمانی مورد بررسی، به طور جداگانه وجود ندارد، تفاوت زیاد سختی و جنس کانیها، وجود درزها و ترکها در سنگ، درصد متفاوت هوازگی و دگرسانی کانیهای سنگ از علل این امر است.

- بین میانگین ضریب بافت و میانگین اندیس سایش سورشار در گروههای مختلف به علت تعدیل پراکندگی های موجود، رابطه خوبی از نوع منحنی درجه دوم دیده می شود (۰/۹۴)

- با حذف نمونه های مربوط به سنگهای آذرین، می توان نتیجه گرفت که در سنگهای آهکی بین میانگین اندیس سایش سورشار و میانگین ضریب بافت رابطه خطی خوبی برقرار است (۰/۹۶).

- در بررسی رابطه میان ضریب بافت و اندیس سایش سورشار باید درصد کانیهای سخت و ساینده، نوع و درجه سیمان شدن و چگونگی به هم پیوستن دانه ها نیز در نظر گرفته شود.

- از آنجاییکه دستگاه سایش سورشار بر روی نمونه ها تنها یک خراش یک بعدی ایجاد می کند و با توجه به اینکه بافت سنگ پارامتری دو بعدی است، این دستگاه نمی تواند معیاری مناسب از ارتباط بافت و سایش سنگ را به دست دهد.

- با توجه به وقت گیر بودن محاسبات مربوط به اندازه گیری ضریب بافت، پیشنهاد می شود که برای انجام این اندازه گیری ها، نرم افزاری تهیه شود.

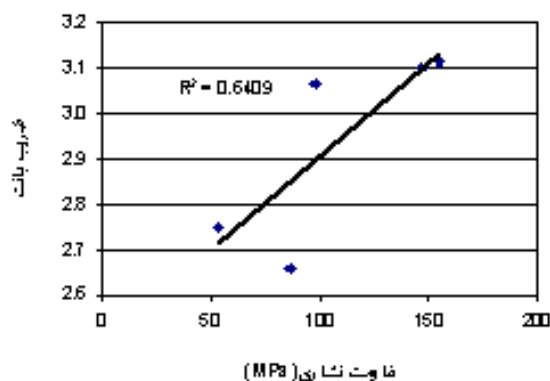
### تشکر و قدردانی

از آقای مهندس جمال کساییانی از وزارت صنایع و معادن و آقای مهندس بختیاری از مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، که نمونه ها و اطلاعات مربوط به

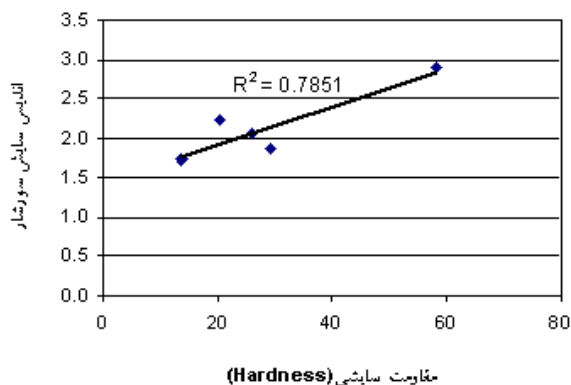
## رابطه مقاومت سایشی نمونه ها با اندیس سایش سورشار

باتوجه به اطلاعات مندرج در جدول (۳) می توان رابطه میان میانگین مقاومت فشاری نمونه ها را با میانگین مقادیر اندیس سایش سورشار و میانگین مقادیر ضریب بافت آنها به دست آورد. شکل (۹) و (۱۰) درجه همبستگی این دو پارامتر را نشان می دهد. همچنانکه در شکل دیده می شود رابطه ای قوی بین میانگین مقاومت فشاری نمونه ها با اندیس سایش سورشار (۰/۴۷) و ضریب بافت (۰/۶۴) وجود ندارد.

با حذف نمونه های گرانیته و در نظر گرفتن این رابطه در سنگهای آهکی یک همبستگی قوی خطی مطابق شکل (۸) به دست می آید.



شکل ۱۰: بررسی رابطه بین میانگین مقاومت فشاری گروه های نمونه مورد بررسی با ضریب بافت.



شکل ۱۱: رابطه مقاومت سایشی نمونه ها با اندیس سایش سورشار.

## رابطه مقاومت سایشی نمونه ها با اندیس سایش سورشار

به همین ترتیب با استفاده از اطلاعات جدول (۳)

آنها را در اختیار قرار دادند، صمیمانه سپاسگزاری شود. همچنین از آقای مهندس روح شهباز، از پردیس دانشکده های فنی دانشگاه تهران، که راهنماییهای ارزنده ای در خلال انجام این پژوهش ارائه دادند، صمیمانه تشکر می شود.

## مراجع

- 1 - Ersoy, M. D. Waller, (1995). "Textural characterization of rocks." *Eng. Geol.*, Vol. 39, PP.123-136.
- 2 - Howarth, D. F. and Rowlands, J. C. (1987). "Quantitative assessment of rock texture and correlation with drillability and strength properties." *Rock Mech. Rock Eng.*, Vol. 20, PP.57-85.
- 3 - Plinninger, R. J., Kasling, H., Thuro, K. and Spaun, G. (2003). "Testing conditions and geomechanical properties influencing the cerchar abrasiveness index (CAI) value." *Int. Journ. Rock Mech. & Min. Sci.*, Vol. 40, PP. 259-263.
- 4 - Suana, M. and Peters, T. (1982). "The cerchar abrasivity index and its relation to rock mineralogy and petrography." *Rock Mech.*, Vol. 15, PP. 1-7.
- 5 - Hawkins, A. and Mc Connell, B. J. (1991). "Influence of Geology on geomechanical properties of sandstones." *Proc. 7th Int. Congr. Rock Mechanics*. Balkema, Rotterdam, Vol. 1, PP.257-260.
- 6 - Smordinov, M. I., Motovilov, E. A. and Volkov, V. A. (1970). "Determination of correlation relationships between strength and some physical characteristics of rocks." *Proc. 2<sup>nd</sup> Congr. Int. Soc. Rock Mechanics*, Belgrade, Yugoslavia, Vol. 2, PP. 35-37.
- ۷ - معماری، ح. "بررسی سایش سنگ به عنوان معیاری جهت طبقه بندی سنگهای ایران." پایان نامه کارشناسی ارشد، گروه مهندسی معدن دانشگاه تهران، (۱۳۸۰).
- ۸ - نجفی، ع. "انتخاب سرمته های الماسه مغزه گیر و پیش بینی سرعت حفاری و میزان مصرف آنها در برخی ساختگاههای ژئوتکنیکی کشور." پایان نامه کارشناسی ارشد، گروه مهندسی معدن دانشگاه تهران، (۱۳۸۲).
- ۹ - کسبانی اول، ج. "اطلس معدن و سنگهای تزئینی و نمای ایران." وزارت صنایع و معادن ایران، (۱۳۸۳).

## واژه های انگلیسی به ترتیب استفاده در متن

- 1 - Rockwell
- 2 - Brinell
- 3 - Reference Area
- 4 - Maximum Feret Diameter
- 5 - Minimum Feret Diameter
- 6 - Texture Coefficient
- 7 - Area Weighting
- 8 - Aspect Ratio
- 9 - Form Factor
- 10 - Angle Ratio
- 11 - Cerchar Abrasion Index (CAI)