

اثر بافت و ویژگی های کانی شناسی بر روی خصوصیات زمین شناسی مهندسی گرانیتوئیدها و هورنبلندگابروهای الوند

محمدحسین قبادی^{۱*}، علیرضا علیجانی^۲

پذیرش مقاله: ۱۳۸۸/۱۱/۷

دریافت مقاله: ۱۳۸۸/۳/۶

چکیده

گرانیتوئیدها و هورنبلندگابروهای منطقه الوند همدان دارای خصوصیات زمین شناسی مهندسی متنوعی هستند. این تنوع روی عملیات معدنکاری، تونل‌بری، پایداری شیب و استفاده از آنها به عنوان سنگ‌های ساختمانی تاثیر می‌گذارد. تفاوت در خصوصیات زمین شناسی مهندسی این سنگ‌ها متأثر از بافت و ویژگی‌های کانی‌شناختی است. هدف از این پژوهش بررسی روابط بین خصوصیات پتروگرافی با ویژگی‌های زمین‌شناسی مهندسی سنگ‌ها است. بدین منظور ۹۰ نمونه از گرانیتوئیدها (مونوزوگرانیت و سینوگرانیت) و هورنبلندگابروهای توده باتولیتی الوند تهیه گردیده و به منظور تعیین ویژگی‌هایی مانند درصد جذب آب، تخلخل، وزن واحد حجم (خشک، مرطوب، اشباع) شاخص خطی ریزترک‌ها، مقاومت فشاری تک‌محوری، شاخص مقاومت بار نقطه‌ای، مدول الاستیسیته و سختی اشمیت مورد آزمایش قرار گرفتند. روابط بین این خصوصیات و ویژگی‌های پتروگرافی بررسی گردید. از برقراری ارتباط بین این ویژگی‌ها مشخص شد که در تعیین خصوصیات زمین‌شناسی مهندسی سنگ، اهمیت ویژگی‌های بافتی بیشتر از خصوصیات کانی شناسی می‌باشد. بدین معنا که خصوصیات دانه‌ها مانند شکل و اندازه، نوع تماس با یکدیگر، درجه قفل شدگی ذرات و شاخص ریزترک‌ها تأثیر مهمی روی خصوصیات زمین‌شناسی مهندسی سنگ دارد.

کلید واژه‌ها: گرانیتوئیدها، هورنبلند گابرو، الوند، خصوصیات زمین شناسی مهندسی

۱. دانشیارگروه زمین‌شناسی دانشگاه بوعلی سینا، همدان amirghobadi@yahoo.com

۲. دانشجوی کارشناسی ارشد گروه زمین شناسی دانشگاه بوعلی سینا، همدان alireza.aliyani@yahoo.com

* مسئول مکاتبات

مقدمه

روی مقاومت نهایی سنگ موثر هستند و می‌توانند به عنوان سطوح ضعف جهات گسیختگی را در سنگ کنترل کنند. گرچه روابط بین خصوصیات مکانیکی و پتروگرافی سنگ‌های گرانیتی توسط پژوهشگران مختلفی مطالعه شده (Onodera and Kumara, 1980; Tugrul and Zarif, 1999) ولی اثر ترکیب کانی‌شناسی و خصوصیات بافتی روی خصوصیات مهندسی این نوع سنگ هنوز به خوبی شناخته نشده است. هدف این پژوهش مطالعه روابط بین خصوصیات پتروگرافی، خصوصیات فیزیکی و زمین‌شناسی مهندسی گرانیتوئیدها و هورنبلندگابروهای توده باتولیتی الوند است که در حد وسیعی بعنوان سنگهای لاشه، مالون و نما استفاده می‌شوند.

در این پژوهش ۹۰ نمونه سنگ از منطقه گنج‌نامه در جنوب باختری همدان جمع‌آوری و از آنها مقاطع نازک تهیه گردیده است. سپس نمونه‌ها برای انجام آزمایش‌های فیزیکی و مکانیکی آماده‌سازی شده است. قبل از آزمایش از بلوک‌های سنگ مغزه‌گیری صورت گرفته است. خصوصیات فیزیکی و مکانیکی مانند وزن مخصوص بخش جامد، وزن واحد حجم (خشک، مرطوب و اشباع)، درصد جذب آب، درصد تخلخل، سختی اشمیت، شاخص مقاومت بار نقطه‌ای، مقاومت تراکم تک‌محوری و مدول ارتجاعی اندازه‌گیری شده است. با استفاده از مطالعه مقاطع نازک سنگ ترکیب سنگ‌شناسی، کانی‌شناسی، بافت و شاخص‌های میکروپتروگرافی (شاخص تراکم ریزترک‌ها، ترک‌های درون دانه‌ای و بین‌دانه‌ای و...) تعیین گردیده است. در نهایت ویژگی‌های پتروگرافی و خصوصیات زمین‌شناسی مهندسی نمونه‌های گرانیتوئیدی و هورنبلندگابروها به روش آنالیز آماری با هم انطباق داده شده و نتیجه‌گیری بعمل آمده است. نتایج این تحقیق و سایر تحقیقات مشابه می‌تواند برای پیش‌بینی خصوصیات زمین‌شناسی مهندسی سنگ‌های منطقه مورد استفاده قرار بگیرد.

پتروگرافی

بر اساس مطالعات پتروگرافیکی (منشاء، کانی‌شناسی و بافت) که توسط میکروسکوپ نوری انجام شده سنگ‌های ناحیه

خصوصیات سنگ‌ها به ترکیب کانی‌شناسی، بافت (اندازه و شکل دانه)، بافته (آرایش کانی‌ها و منافذ) و میزان هوازدگی وابسته است (Ghobadi, 2000; Pacheco and Castro, 2006). گرانیتوئیدها و هورنبلندگابروها از نظر کانی‌شناسی، خصوصیات پتروگرافی و ویژگی‌های مهندسی تنوع زیادی دارند. پژوهشگران زیادی با استفاده از تکنیک‌های مختلف روی خصوصیات کانی‌شناسی و بافتی سنگ‌های مذکور مطالعاتی انجام داده‌اند (Tugrul and Zarif, 1999; Irfan, 1996). عمده این پژوهش‌ها روی تعیین درجه هوازدگی و ارائه روشی مناسب برای طبقه بندی هوازدگی سنگ متمرکز بوده است. به علت تنوع در خصوصیات پتروگرافی، تفاوت زیادی در خصوصیات مکانیکی گرانیتوئیدها و هورنبلندگابروها مشاهده می‌شود. ویژگی‌های پتروگرافی که خصوصیات مکانیکی را تحت تاثیر قرار می‌دهد شامل اندازه دانه‌ها، شکل دانه‌ها، درجه قفل شدگی ذرات، نوع تماس دانه‌ها با یکدیگر و ترکیب کانی‌شناسی می‌باشد. سنگ‌های آذرین فاقد هوازدگی به خاطر ترکیب کانی‌شناسی و بافت خود، مقاومت و مدول الاستیسیته بالایی دارند (Urban et al, 2004). مطالعات انجام شده نشان می‌دهد که یک رابطه خطی بین مقاومت و اندازه دانه‌ها وجود دارد به طوری که با کاهش اندازه دانه‌ها مقاومت افزایش پیدا می‌کند (Luís, 2007; Onodera and Kumara, 1980).

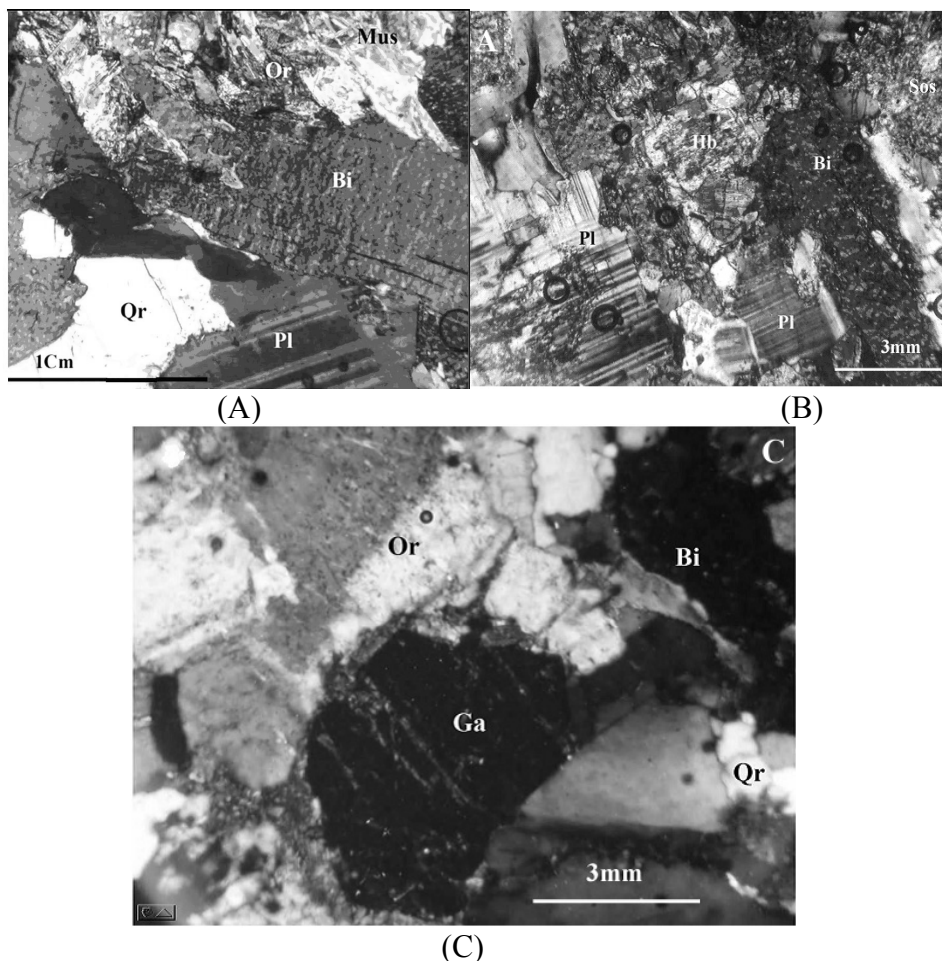
مندز (Mendes) و همکاران در سال ۱۹۶۶ مطرح کردند که داده‌های میکروپتروگرافی می‌تواند به صورت شاخص‌های کیفی بیان شده و با خصوصیات مکانیکی سنگ انطباق داده شوند. آنها مدلی برای ترکیب کانی‌شناسی گرانیت با بافت و ریزساختارها ارائه کرده و دریافتند که خصوصیات پتروگرافی انطباق خوبی با خصوصیات مکانیکی دارد. مطالعات پتروفابریک در سال ۱۹۶۹ توسط ویلارد و ویلیامز (Willard and McWilliams) ارائه شد تا امکان مطالعه رفتار مکانیکی سنگ‌ها با وجود ریزساختارها فراهم گردد. آنها اظهار کردند که ریزترک‌ها، مرزهای دانه‌ها و رخ‌های موجود در کانی‌ها

موسکوئیت، بیوتیت و هورنبلند می باشند (جدول ۲). تورمالین در بعضی نمونه ها دیده می شود. به روش توصیف شده توسط هاتچنسون (Hutchinson, 1974) شمارش کانی انجام شده و درصد کانی های کوارتز، پلاژیوکلاز، ارتوکلاز، بیوتیت، موسکوئیت، هورنبلند و تورمالین در مقاطع نازک تعیین گردیده است (جدول ۲).

مورد مطالعه در سه نوع هورنبلند گابرو، مونزوگرانیت و سینوگرانیت دسته بندی شده اند (جدول ۱). تمام نمونه های مورد آزمایش تازه و یا جزئی هوازده بودند. بافت سنگ ها هاپیدومورفیک دانه ای می باشد. به این معنا که فقط تعداد کمی از بلورهای سنگ شکل دار هستند. در تمام نمونه ها، کانی های اصلی شامل کوارتز، پلاژیوکلاز، ارتوکلاز،

جدول ۱: توصیف پتروگرافی سنگهای مورد مطالعه

نام سنگ	منشا	بافت	اندازه ذرات	نوع و شکل کانی، توصیف هوازدگی
هورنبلند گابرو	تفریق ماگمایی	دانه ای	متوسط	هورنبلند و بیوتیت نیمه شکل دار و اندکی هوازده
مونزوگرانیت	ذوب پوسته قاره ای	پورفیری	درشت	پلاژیوکلاز نیمه شکل دار تا بی شکل، کوارتز بی شکل و بیوتیت نیمه شکل دار با اندکی هوازدگی
سینوگرانیت	ذوب پوسته قاره ای	دانه ای	متوسط	ارتوکلازها و کوارتزهای درشت و بی شکل فاقد هوازدگی



شکل ۲) مقاطع نازک سنگهای مورد مطالعه (A) هورنبلند گابرو، (B) مونزوگرانیت و (C) سینوگرانیت، Bi (بیوتیت)، Qr (کوارتز)، Pl (پلاژیوکلاز)، Mus (موسکوئیت)، Tor (تورمالین)، Or (ارتوکلاز)، Hb (هورنبلند)، Sos (مجموعه ناشی از دگرسانی بیوتیت و هورنبلند).

جدول ۲: درصد کانی های موجود در سنگ های مورد مطالعه

درصد کانی ها	نوع سنگ		
	مونزوگرانیت	هورنبلندگابرو	سینوگرانیت
-	۴۰	۱۵	۳۰
کوارتز	۲۰	-	۴۰
ارتوکلاز	۲۰	۲۵	-
پلاژیوکلاز	-	۳۰	-
هورنبلند	۱۳	۱۵	۲۰
بیوتیت	۷	۱۰	۵
مسکویت	-	-	۵
تورمالین	-	-	۵

آن را می توان مربوط به اندازه درشت کانی ها، وجود فلدسپات زیاد، درجه درهم قفل شدگی کم و هوازدگی سنگ دانست. کمترین شاخص خطی ریزترک ها مربوط به هورنبلندگابرو است که علت آن به بافت، ساخت ریز دانه و تراکم کانی های سنگ مربوط می باشد. کانی کوارتز به خاطر سختی بالا و هوازدگی خیلی کم ترک های بین دانه ای ناچیزی دارد. ولی فلدسپات ها چون با شرایط سطحی زمین سازگاری کمتری داشته اند و زودتر تحت تاثیر هوازدگی قرار گرفته اند ترک های درون دانه ای بیشتری دارند (Tugrul, 2004).

آنالیز ریزترکها

روشهای مطالعه میکروسکوپ نوری و میکروسکوپ الکترونی برای بررسی ریزترکها مفید می باشند (Luís, 2005 and 2007). در این پژوهش از میکروسکوپ نوری برای مطالعه ترک های درون دانه ای (Intragranular cracks) و تعیین شاخص تراکم خطی ریزترکها (Linear Crack Density Index) استفاده شده است. تعداد کل ترک های درون دانه ای در یک سانتی متر از مقطع نازک با ۱۰ برابر بزرگنمایی شمارش شده است. شاخص تراکم خطی ریزترکها (LCDI) نیز از شمارش تعداد کل ترک های بین دانه ای و درون دانه ای در یک سانتی متر از مقطع نازک با ۱۰ برابر بزرگنمایی بدست آمده است. برای تعیین شاخص تراکم خطی ریزترکها تا حد ممکن عمود بر امتداد ریزترکها اندازه گیری انجام شده است. در جدول ۳ تعداد ترک های درون دانه ای و شاخص تراکم خطی ریزترکها برای سنگ های منطقه نشان داده شده است.

همان طور که در جدول ۳ دیده می شود بیشترین تراکم خطی ریزترکها مربوط به مونزوگرانیت متوسط هوازده است. علت

ویژگی های فیزیکی و مکانیکی

ویژگی های فیزیکی گرانیتوئیدها (مونزوگرانیت ها و سینوگرانیت ها) و هورنبلندگابروها مطابق با استاندارد ASTM, 1980 تعیین شده است. این ویژگی ها شامل تعیین وزن مخصوص بخش جامد، وزن واحد حجم (خشک، مرطوب و اشباع)، درصد جذب آب و درصد تخلخل بوده است. خصوصیات مکانیکی سنگها نیز مطابق با استاندارد ISRM, 1981 تعیین گردیده است. آزمون های سختی اشمیت روی بلوک های سنگی و شاخص مقاومت بار نقطه ای، مقاومت تراکم تک محوری روی مغزه های استوانه ای سنگ انجام شده است. مدول الاستیسیته سنگ های بکر با استفاده از منحنی تنش- کرنش محاسبه شده است. نتایج آزمایش های خصوصیات فیزیکی و مهندسی برای ۱۵ نمونه مونزوگرانیت، ۱۵ نمونه هورنبلندگابرو و ۱۵ نمونه سینوگرانیت به ترتیب در جدول های ۴، ۵ و ۶ نشان داده شده است. تمام نمونه های مورد آزمایش جزئی هوازدگی داشته اند.

جدول ۳: شاخص ریزترکها برای سنگ های مورد مطالعه

نام سنگ	هوازدگی	ترک های درون دانه ای (Crack/cm)			شاخص تراکم خطی ریزترکها (Crack/cm)
		کوارتز	فلدسپات	جمع ترکها	
مونزوگرانیت	غیرهوازده	7	43	50	56
	متوسط هوازده	10	43	53	60
هورنبلندگابرو	غیرهوازده	-	17	38	48
سینوگرانیت	غیرهوازده	5	14	19	50

جدول ۴: ویژگی های فیزیکی و مهندسی مونوزوگرانیت های غیرهوازده

شماره نمونه	Solid specific gravity (Gs)	Saturated unit weight (γ_{sat})(g/cm ³)	Total unit weight (γ_t)(g/cm ³)	Dry unit weight (γ_d)(g/cm ³)	Water content (% ω)	Porosity (n%)
MG1	2.63	2.59	2.58	2.54	0.89	2.73
MG2	2.66	2.64	2.62	2.58	1.1	2.28
MG3	2.65	2.60	2.59	2.58	1.00	2.30
MG4	2.65	2.63	2.61	2.60	1.02	2.36
MG5	2.64	2.61	2.6	2.58	0.95	2.38
MG6	2.62	2.64	2.635	2.62	0.90	2.65
MG7	2.66	2.59	2.58	2.58	0.94	2.57
MG8	2.61	2.58	2.58	2.56	0.96	2.60
MG9	2.65	2.62	2.61	2.60	0.92	2.64
MG10	2.63	2.63	2.62	2.61	0.91	2.56
MG11	2.64	2.61	2.60	2.58	0.99	2.65
MG12	2.65	2.64	2.63	2.61	0.97	2.63
MG13	2.63	2.62	2.61	2.60	1.00	2.70
MG14	2.62	2.60	2.59	2.58	1.05	2.78
MG15	2.64	2.63	2.61	2.59	0.96	2.64
average	2.64	2.61	2.60	2.58	0.97	2.56

ادامه جدول ۴

Sample number	Microfracture index (Crack/cm)	Schmidt Hammer Value(SHV)	UCS (MPa)	Elastic modulus (GPa)	Point load index (MPa)
MG1	6.6	42	36.8	45.6	1.2
MG2	6.1	48	74.2	76.7	3.2
MG3	6.2	45	71.0	72.3	3.1
MG4	6.2	45	62.2	56.7	3.0
MG5	6.2	44	55.6	62.9	2.4
MG6	6.5	46	45.6	66.8	1.5
MG7	6.4	45	52.1	55.8	2.1
MG8	6.5	40	60.0	46.7	2.1
MG9	6.5	43	58.1	52.3	1.9
MG10	6.4	32	50.0	48.9	1.3
MG11	6.5	48	68.0	62.0	2.3
MG12	6.5	45	58.3	60.1	2.2
MG13	6.6	43	64.5	54.3	3.1
MG14	6.6	32	38.2	56.1	1.2
MG15	6.5	46	54.3	55.6	1.8
average	6.4	42	56.6	58.2	2.2

جدول ۵: ویژگی‌های فیزیکی و مهندسی هورنبلندگابرو غیرهوازده

Sample number	Solid specific gravity (Gs)	Saturated unit weight (γ_{sat})(g/cm ³)	Total unit weight (γ_t)(g/cm ³)	Dry unit weight (γ_d)(g/cm ³)	Water content (% ω)	Porosity (%n)
HGa1	2.88	2.86	2.85	2.83	0.87	2.1
HGa2	2.87	2.84	2.83	2.82	0.90	2.1
HGa3	2.83	2.80	2.78	2.76	0.92	2.1
HGa4	2.76	2.75	2.74	2.72	0.95	2.1
HGa5	2.90	2.88	2.86	2.85	0.94	2.2
HGa6	2.91	2.88	2.87	2.85	0.97	2.1
HGa7	2.84	2.82	2.80	2.78	1.00	2.2
HGa8	2.80	2.78	2.77	2.75	0.98	2.1
HGa9	2.89	2.88	2.86	2.85	0.78	2.2
HGa10	2.81	2.79	2.77	2.76	0.90	2.1
HGa11	2.85	2.83	2.82	2.80	0.85	2.1
HGa12	2.81	2.80	2.78	2.76	0.84	2.1
HGa13	2.89	2.87	2.85	2.84	0.78	2.1
HGa14	2.87	2.88	2.86	2.84	0.80	2.1
HGa15	2.83	2.80	2.79	2.78	0.87	2.0
average	2.85	2.83	2.81	2.80	0.89	2.1

ادامه جدول ۵

Sample number	Microfracture index (Crack/cm)	Schmidt Hammer Value(SHV)	UCS (MPa)	Elastic modulus (GPa)	Point load index (MPa)
HGa1	5.25	50	120.1	70.2	4.8
HGa2	5.24	56	120.32	65.3	4.62
HGa3	5.2	54	110	87.5	3.85
HGa4	5.26	62	130.25	68.39	5.87
HGa5	5.3	63	140.2	81.2	6.0
HGa6	5.28	66	155.6	87.6	6.2
HGa7	5.31	52	132	80	3.98
HGa8	5.28	50	128	72	4.1
HGa9	5.32	51	130.2	76.3	4.1
HGa10	5.24	54	134	95	4.21
HGa11	5.2	58	136.9	86.5	3.68
HGa12	5.26	56	141.0	75.4	5.42
HGa13	5.25	63	144.3	87.8	5.5
HGa14	5.21	64	147.6	76.9	5.62
HGa15	5.19	65	148	94.1	5.37
average	5.25	57	134.56	80.3	4.88

جدول ۶: ویژگی های فیزیکی و مهندسی سینوگرانیت های غیرهوازده

Sample number	Solid specific gravity (Gs)	Saturated unit weight (γ_{sat})(g/cm ³)	Total unit weight (γ_t)(g/cm ³)	Dry unit weight (γ_d)(g/cm ³)	Water content (% w)	Porosity (%n)
SG1	2.74	2.70	2.68	2.66	1.00	2.8
SG2	2.73	2.69	2.68	2.67	1.33	2.7
SG3	2.71	2.67	2.65	2.63	1.02	2.1
SG4	2.69	2.65	2.64	2.63	1.39	3.0
SG5	2.64	2.60	2.58	2.57	0.99	2.0
SG6	2.65	2.60	2.59	2.57	1.13	2.1
SG7	2.62	2.57	2.55	2.54	1.27	2.2
SG8	2.63	2.58	2.56	2.55	1.22	2.2
SG9	2.65	2.61	2.60	2.58	1.25	2.2
SG10	2.67	2.62	2.61	2.60	1.23	2.2
SG11	2.59	2.56	2.54	2.52	1.24	2.3
SG12	2.65	2.61	2.59	2.58	1.30	2.3
SG13	2.74	2.70	2.69	2.67	1.17	2.0
SG14	2.71	2.68	2.67	2.64	1.23	2.2
SG15	2.70	2.67	2.65	2.64	1.10	2.1
average	2.67	2.63	2.62	2.6	1.19	2.3

ادامه جدول ۶

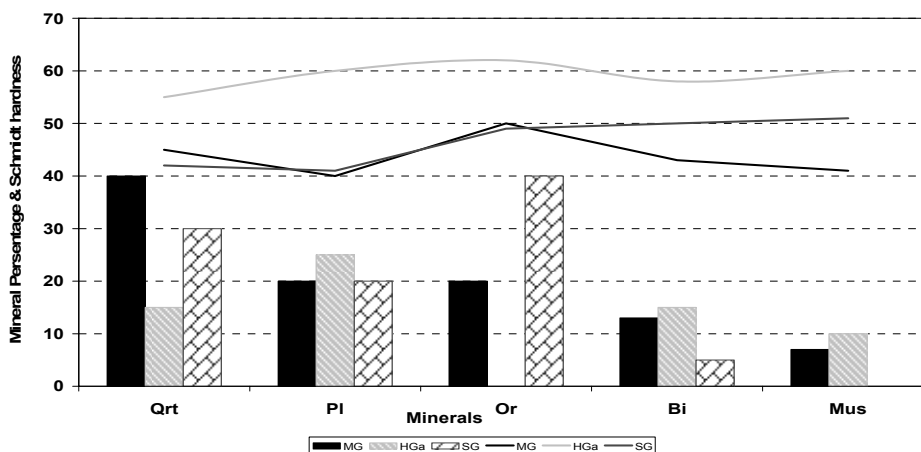
Sample number	Microfracture index (Crack/cm)	Schmidt Hammer Value(SHV)	UCS (MPa)	Elastic modulus (GPa)	Point load index (MPa)
SG1	6	40	85.3	65.2	3.5
SG2	5.9	53	112	74.5	4.1
SG3	5.3	48	100.6	60.8	3.6
SG4	6.2	51	110	63	3.8
SG5	5.2	46	85.4	54.3	2.6
SG6	5.3	43	82.9	65.2	2.9
SG7	5.4	41	80.2	67.5	2.6
SG8	5.4	40	75.6	54	3.1
SG9	5.4	42	76.9	52.6	2.5
SG10	5.4	50	108	60.2	3.5
SG11	5.5	49	100	67.3	3.4
SG12	5.5	52	121.1	75.6	4.5
SG13	5.2	41	87.5	65	3.2
SG14	5.4	43	88.9	68	3.5
SG15	5.3	44	90.1	63.5	4.0
average	5.5	45.5	93.6	63.7	3.4

مقاومت فشاری تک محوری شده است. بیشترین شاخص ریزترکها به مونزوگرانیتها تعلق دارد و کمترین مقاومت تک محوری و بارنقطه ای نیز مربوط به این سنگها است. ارتباط بین ویژگی های پتروگرافی و خصوصیات مهندسی اثر ترکیب کانی شناسی بر روی مقاومت سنگ توسط پژوهشگران زیادی مطالعه شده است (Howarth and Rowlands, 1986; Ghobadi, 2000). مطابق نظر این محققان بین مقدار کوارتز و مقاومت تراکم تک محوری سنگ

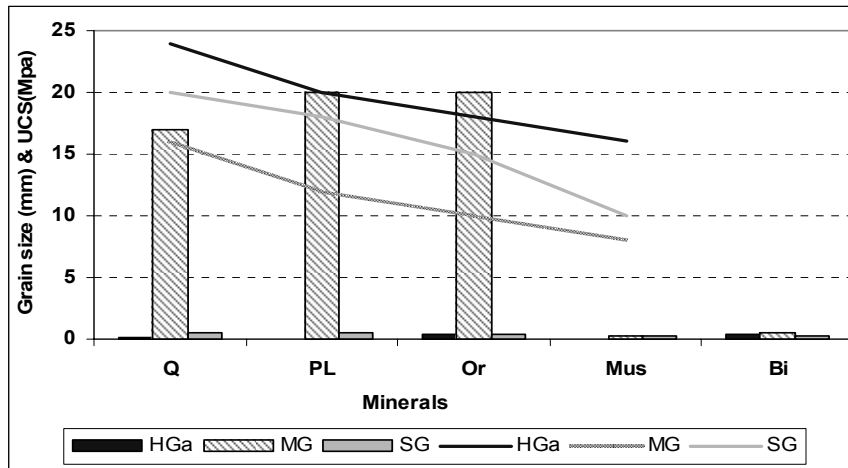
همانطور که در جدولهای ۴ تا ۶ دیده می شود با توجه به ترکیب کانی شناسی، حداکثر مقدار وزن مخصوص قسمت جامد به هورنبلندگابروها و حداقل مقدار آن به مونزوگرانیتها تعلق دارد. هورنبلندگابرو متشکل از کانی های تیره رنگ مانند هورنبلند و پلاژیوکلازهای کلسیم دار است در حالی که در مونزوگرانیت کانی های روشن ارتوکلاز و کوارتز فراوان تر هستند. همانطور که در جدولهای ۴ تا ۶ مشاهده می شود افزایش شاخص ریزترکهای موجود در سنگ منجر به کاهش

شوند). همچنین فراوانی کانی‌های دارای رخ در سنگ، مقاومت را کاهش می‌دهند. همان‌طور که در شکل ۴ مشاهده می‌شود بزرگترین اندازه ذرات مربوط به مونزوگرانیت و ریزترین آنها مربوط به هورنبلندگابرو است. مطابق شکل ۴ با افزایش اندازه ذرات مقاومت تک محوری سنگ کاهش می‌یابد. زیرا با افزایش ابعاد ذرات میزان سطوح ضعف و درجه درهم قفل شدگی کاهش یافته و سنگ مقاومت کمتری از خود نشان می‌دهد. میزان شاخص تراکم خطی ریزترکها و ترکهای بین دانه‌ای در جدول ۳ نیز دلیلی دیگر بر صحت این موضوع است. با افزایش اندازه فلدسپات‌ها در مونزوگرانیت، میزان شاخص ریزترکها افزایش یافته و در نتیجه مقاومت فشاری تک‌محوری سنگ کاهش می‌یابد. گودمن (Goodman) در سال ۱۹۸۹ نشان داد که در سنگ‌های گرانیته نسبت زیادی از فضاهای خالی، مربوط به ترک‌های صفحه‌ای موجود در سنگ است. با استفاده از جدول ۴ و شکل ۴ میتوان دریافت که به دلیل اندازه درشت ذرات کوارتز و فلدسپات در مونزوگرانیته‌ها، بیشترین میزان تخلخل و شاخص تراکم ریزترکها مربوط به این سنگ‌ها است. کوارتز به دلیل ساختار باز تتراهدراول و پلاژیوکلاز به خاطر ساختار نسبتاً باز مونوکلینیک فضای خالی زیادتری دارند که باعث افزایش تخلخل سنگ می‌شوند. ریزترکها به‌طور عمده در کانی فلدسپات دیده می‌شوند. با پیشرفت هوازدگی نسبت ریزترکها افزایش می‌یابد که این موضوع روی مقاومت سنگ موثر می‌باشد.

رابطه مثبتی وجود دارد. مطابق با نتایج این پژوهش نیز با افزایش مقدار کوارتز مقاومت سنگ افزایش پیدا می‌کند. به منظور تعیین اثر خصوصیات پتروگرافی روی خصوصیات مهندسی درصد فراوانی کانی‌ها با عدد سختی اشمیت مقایسه شده است (شکل ۳). در شکل ۳ هیستوگرام‌ها درصد کانی‌ها و منحنی‌ها سختی اشمیت را نشان می‌دهند. مطابق جدول ۲ و شکل ۳ درصد کانی کوارتز در سینوگرانیت‌ها کمتر از مونزوگرانیت‌ها می‌باشد. در حالی که سختی این سنگ در حد مونزوگرانیت است. علت این امر بافت و ساخت ریزدانه‌تر سینوگرانیت نسبت به مونزوگرانیت است. همچنین مطابق شکل ۳ و با توجه به جدول ۲ بیشترین درصد کوارتز مربوط به مونزوگرانیت و سینوگرانیت و کمترین مقدار مربوط به هورنبلندگابرو می‌باشد در حالی که هورنبلندگابرو سختی بیشتری نشان می‌دهد. بنابراین نمی‌توان تنها وجود کانی کوارتز را دلیل سختی زیاد سنگ دانست. زیرا که در ارتباط با ارزیابی سختی و مقاومت، نوع تماس دانه‌ها با یکدیگر، بافت، درجه درهم قفل شدگی و دانسیته در افزایش سختی سنگ نقشی اساسی بازی می‌کنند (Faisal et al, 2007; Is_k, 2002; Yilmaz, and Sendi, 2002; Kahraman, et al, 2002). رابطه بین مقاومت تراکم تک‌محوری و حداکثر اندازه دانه‌ها نیز در شکل ۴ نشان داده شده است. همان‌طور که در این شکل دیده می‌شود اندازه دانه عاملی مهم در ارزیابی مقاومت سنگ‌ها محسوب می‌گردد، با کاهش اندازه دانه‌ها مقاومت سنگ بالا می‌رود (در این شکل برای تعیین مقاومت تراکمی تک محوری سنگ اعداد روی محور قائم باید در ۵ ضرب



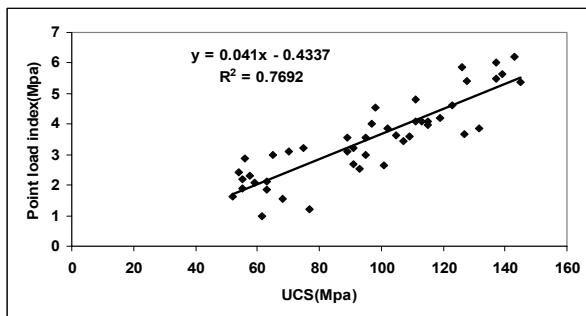
شکل ۳: درصد فراوانی کانیها در مقابل عددسختی اشمیت، مونزوگرانیت (MG)، هورنبلند گابرو (HGa)، سینوگرانیت (SG)، کوارتز (Qrt)، پلاژیوکلاز (Pl)، ارتوکلاز (or)، بیوتیت (Bi)، مسکویت (Mus).



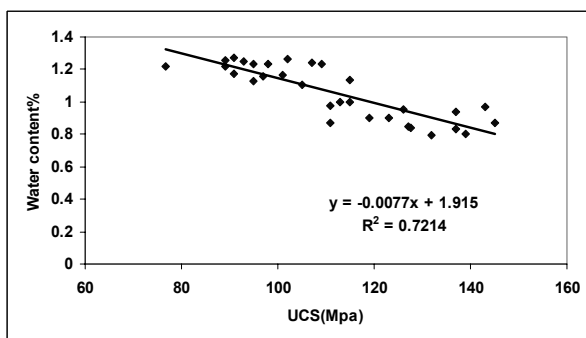
شکل ۴: رابطه نوع، اندازه کانی ها با مقاومت فشاری تک محوری، مونزوگرانیت (MG)، هورنبلند گابرو (HGa)، سینوگرانیت (SG)، کوارتز (Qrt)، پلاژیوکلاز (PI)، ارتوکلاز (or)، بیوتیت (Bi)، مسکویت (Mus).

ارتباط بین ویژگی های فیزیکی و مهندسی

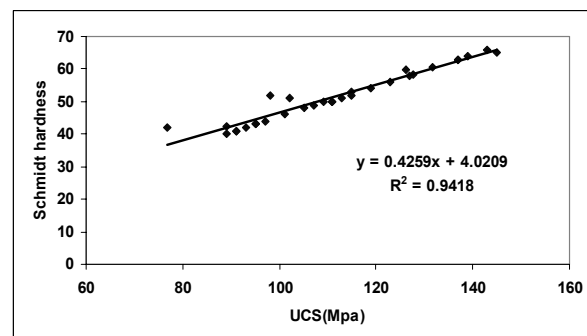
ویژگی های زمین شناسی مهندسی سنگ ها با ویژگی های فیزیکی آنها ارتباط مشخصی دارد. این موضوع در شکل های ۴ تا ۵ برای سنگ های منطقه مورد مطالعه نشان داده شده است. شاخص ریزترک ها (Microfracture index) از ویژگی های مهم میکروپتروگرافی سنگ ها است که با ویژگی های فیزیکی و مهندسی آنها ارتباط دارد. از بین روابط حاصل شده برای شاخص ریزترک ها و خصوصیات مهندسی و فیزیکی سنگ ها، تنها روابط ۴ تا ۷ نشان داده شده در جدول ۷ همبستگی خوبی نشان داده است. همان طور که در شکل های ۱۱ و ۱۴ دیده می شود، افزایش این شاخص منجر به افزایش تخلخل و جذب آب می شود و در نتیجه مقاومت فشاری تک محوری و مدول یانگ کاهش می یابد (شکل های ۹ و ۱۰).



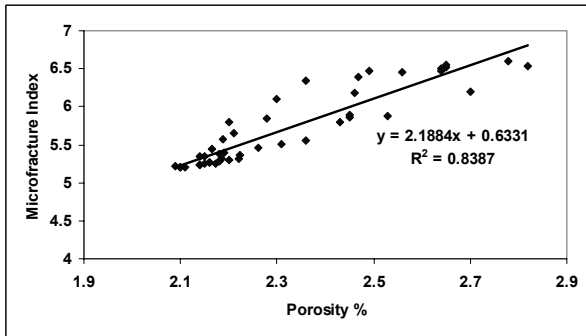
شکل ۶: رابطه مقاومت فشاری تک محوری با شاخص بار نقطه ای (برای گرانیتوئیدها و هورنبلند گابروها)



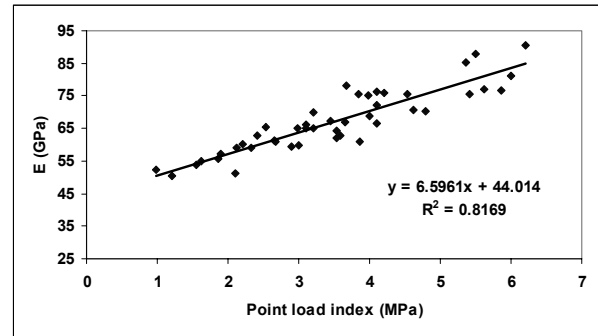
شکل ۷: رابطه مقاومت فشاری تک محوری با درصد رطوبت (برای گرانیتوئیدها)



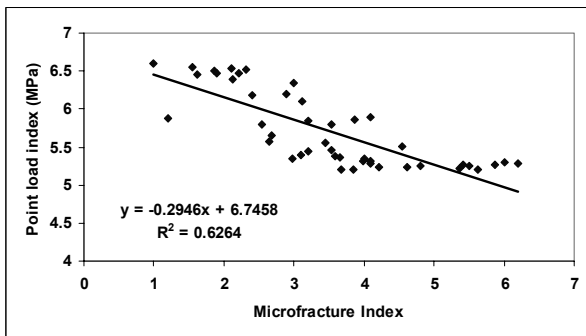
شکل ۵: رابطه مقاومت فشاری تک محوری با سختی اشمیت (برای گرانیتوئیدها)



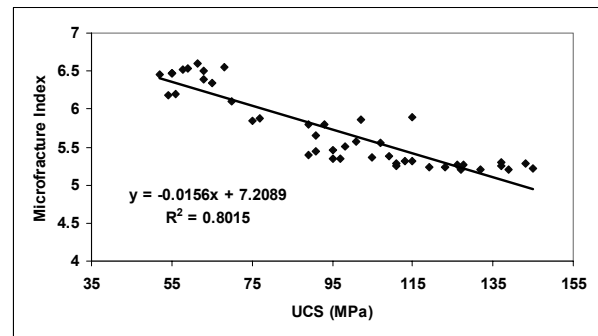
شکل ۱۱: رابطه شاخص ریزترکها و تخلخل (برای گرانیتوئیدها و هورنبلند گابروها)



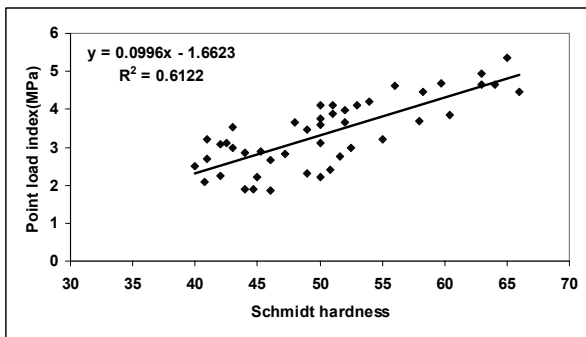
شکل ۸: رابطه شاخص بار نقطه‌ای با مدول یانگ (برای گرانیتوئیدها و هورنبلند گابروها)



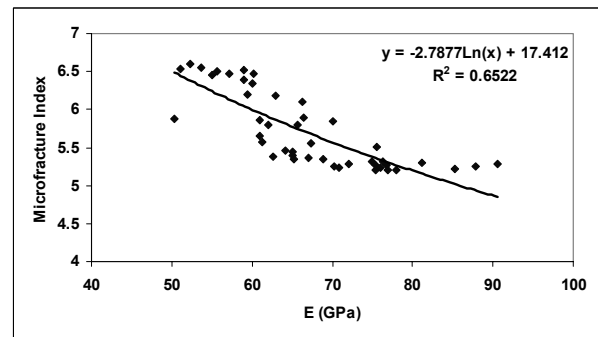
شکل ۱۲: رابطه شاخص ریزترکها با شاخص بار نقطه‌ای (برای گرانیتوئیدها و هورنبلند گابروها)



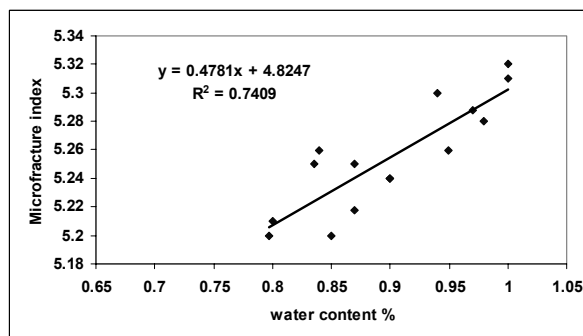
شکل ۹: رابطه مقاومت فشاری تک محوری با شاخص ریزترکها (برای گرانیتوئیدها و هورنبلند گابروها)



شکل ۱۳: رابطه سختی اشمیت با شاخص بار نقطه‌ای ریزترکها (برای گرانیتوئیدها و هورنبلند گابروها)



شکل ۱۰: رابطه مدول یانگ با شاخص ریزترکها (برای گرانیتوئیدها و هورنبلند گابروها)



شکل ۱۴: رابطه درصد رطوبت با شاخص (برای هورنبلند گابروها)

جدول ۷: روابط بدست آمده برای سنگ های منطقه مورد مطالعه

نوع سنگ	شماره رابطه	معادله	ضریب همبستگی (R^2)
گرانیتوئیدها و هورنبلندگابروها	۱	$Is = -0.29MI + 6.74$	0.72
گرانیتوئیدها و هورنبلندگابروها	۲	$Is = 0.04UCS - 0.43$	0.76
گرانیتوئیدها و هورنبلندگابروها	۳	$Is = 0.099SH - 1.66$	0.61
گرانیتوئیدها و هورنبلندگابروها	۴	$MI = -2.87LnE + 17.41$	0.65
گرانیتوئیدها و هورنبلندگابروها	۵	$MI = -0.015UCS + 7.2$	0.80
گرانیتوئیدها و هورنبلندگابروها	۶	$MI = 2.18n + 0.63$	0.83
هورنبلندگابروها	۷	$MI = 0.47\omega + 4.82$	0.74
گرانیتوئیدها و هورنبلندگابروها	۸	$E = 6.69Is + 44$	0.81
گرانیتوئیدها	۹	$SH = 0.42UCS + 4$	0.94
گرانیتوئیدها	۱۰	$\omega = 0.007UCS + 1.91$	0.72

Is: شاخص بار نقطه ای، MI: شاخص ریزترکها، UCS: مقاومت فشاری تک محوری، n: تخلخل، E: مدول یانگ، ω : درصد رطوبت، SH: سختی اشمیت، GS: وزن مخصوص بخش جامد.

نتیجه گیری

ویژگی های فیزیکی و مهندسی سنگ در ارتباط با ویژگی های کانی شناسی و بافتی آنها است. این موضوع در سنگ های منطقه به دلیل تنوع زیاد کانی شناسی و بافتی بخوبی دیده می شود. نتایج حاصل از این تحقیق به صورت زیر قابل جمع بندی است:

- ۱- با افزایش میزان کانی کوارتز در سنگ، میزان شاخص تراکم خطی ریزترکها کاهش و مقاومت افزایش پیدا می کند. علت این پدیده عدم توسعه ریزترکها در کانی کوارتز است. درحالی که میزان تراکم ریزترکها در فلدسپاتها توسعه داشته و موجب کاهش مقاومت سنگ می گردد. دلیل توسعه ریزترکها در کانی فلدسپات وجود رخ (Cleavage) و ساختار ضعیف آنها است.
- ۲- کاهش مقاومت فشاری تک محوری مونوزوگرانیتها به دلایل وجود حدود ۴۰٪ فلدسپات، درشتی اندازه ذرات و بالا بودن شاخص تراکم خطی ریزترکها می باشد. درشت بودن اندازه ذرات باعث افزایش سطوح ضعف سنگ در مرز بین دانه ها می شود. از آنجا که ذرات درشت، سطح تماس کمتری با یکدیگر داشته و درجه درهم قفل شدگی

به منظور پیش بینی ویژگی های مهندسی سنگها می توان از آزمایش های غیرمخرب و ارزان استفاده کرد که یکی از آنها آزمون چکش اشمیت است. برای گرانیتوئیدهای منطقه بین سختی اشمیت و مقاومت فشاری تک محوری ارتباط خوبی برقرار است (رابطه ۹ در جدول ۷). همچنین روابط بین سختی اشمیت با شاخص بار نقطه ای دارای ضریب همبستگی مناسبی است (رابطه ۳). کوشش به منظور برقراری ارتباط بین سختی اشمیت با دیگر خصوصیات فیزیکی و مهندسی سنگها انجام شد که روابط ضریب همبستگی پائینی داشتند. شاخص بار نقطه ای و سختی، شاخص بار نقطه ای با شاخص ریزترکهای سنگ رابطه ای معکوس دارد (روابط ۱، ۳). مدول الاستیسیته براساس منحنی تنش - کرنش در آزمایشگاه محاسبه شده است. با افزایش یکنواختی و درهم قفل شدگی ذرات سنگ، میزان مقاومت و سختی افزایش یافته و شاخص ریزترکها کاهش می یابد. بنابراین میزان مدول الاستیسیته سنگ افزایش می یابد. همان طور که در جدول های ۴ تا ۶ نشان داده شده است، بعلا تراکم زیاد ذرات و کم بودن شاخص ریزترکها بیشترین مدول الاستیسیته مربوط به هورنبلندگابرو است.

تراکم ریزترک‌ها در آنها کمتر است. بنابراین مقاومتی بیشتر از مونزوگرانیت‌ها دارند.

در مونزوگرانیت‌ها وجود کانی‌های درشت فلدسپات، بافت پورفیری، ریزترک‌های فراوان و سطوح ضعف در ساختار کانی‌ها موجب کاهش مقاومت، دوام و کارایی (Workability) سنگ میشود. بنابراین از میان سنگ‌های مطالعه شده در منطقه، هورنبلندگابروها بدلیل داشتن مقاومت و دوام بیشتر برای استفاده بعنوان مصالح ساختمانی مناسب‌تر هستند.

کمتری دارند، بنابراین سنگ مقاومت تراکمی تک محوری و دوام کمتری دارد.

۳- هورنبلندگابروها به خاطر داشتن دانسیته بالا، ذرات ریز تا متوسط و درجه درهم قفل شدگی زیاد، مقاومت فشاری تک محوری بالایی از خود نشان می‌دهند.

۴- سینوگرانیت‌ها از نظر اندازه ذرات در حد هورنبلندگابروها هستند و کوارتز بیشتری دارند ولی با داشتن حدود ۴۰٪ ارتوکلاز نسبت به هورنبلندگابروها مقاومت کمتری دارند. ولی سینوگرانیت‌ها نسبت به مونزوگرانیت‌ها ریزدانه‌تر هستند، درجه درهم قفل شدگی بیشتری دارند و شاخص

منابع

- ASTM, 1980. Annual Book of ASTM Standards- Natual Building Stones; Soil and Rock, Part 19. ASTM Publication office, Philadelphia.
- Faisal I. Shalabi, Edward J. Cording, Omar H. Al-Hattamleh, 2007, Estimation of rock engineering properties using hardness tests, *Engineering Geology*, 90, 138-147.
- Ghobadi M.H., 2000, Petrology, weathering and long-term stability slope, 8th International IAEG congress.pp.????
- Goodman, R.E., 1989. Introduction to Rock Mechanics. John Wiley & Sons.
- Howarth, D.F., Rowlands, J.C., 1986. Development of an index to quantify rock texture for qualitative assessment of intact rock properties. *Geotechnical Testing J.9(4)*, 169-179.
- Hutchinson, C.S., 1974. Laboratory Handbook of Petrographic Techniques. John Wiley & Sons.
- International Society for Rock Mechanics, 1981. Rock Characterization. Testing and Monitoring. In Brown, E.T. (Ed.), *ISRM Suggested Methods*. Pergamon, Oxford.
- Is_k Yilmaz, Hu`seyin Sendi `r, 2002, Correlation of Schmidt hardness with unconfined compressive strength and Young's modulus in gypsum from Sivas (Turkey), *Engineering Geology*, 66, 211-219.
- Irfan, T.Y., 1996. Mineralogy, fabric properties and classification of weathered granites in Hong Kong. *Q.J.Eng. Geol* 29, 5-35.
- Kahraman, S. M. Fener, O. Gunaydin, 2002, Predicting the Schmidt hammer values of in-situ intact rock from core sample values, *International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences*, 39, 395-399.
- Luis M.O. Sousa, 2007, Granite fracture index to check suitability of granite outcrops for quarrying, *Engineering Geology*, 92, 146-159.
- Lui's M.O. Sousa , Luis M. Sua´rez del Rı, Lope Calleja, Vicente G. Ruiz de Argandon, Angel Rodri´guez Rey, 2005, Influence of microfractures and porosity on the physico-mechanical properties and weathering of ornamental granites, *Engineering Geology* ,77, 153-168.
- Mendes, F.M., Aires-Barros, L., Rodrigues, F.P., 1966. The use of modal analysis in the mechanical chararacterization of rock masses. In: Proc. 1st Int. Cong. Rock Mech., Lisbon, Vol. 1, pp.217-223.
- Onodera, T.F., Asoka Kumara, H.M., 1980. Relation between texture and mechanical properties of crystalline rocks. *Bull. Int. Assoc. Eng. Geol.*22, 173-177.
- Pacheco Torgal F., Castro-Gomes J.P., 2006, Influence of physical and geometrical properties of granite and limestone aggregates on the durability of a C20/25 strength class concrete, *Construction and Building Materials*, 20, 1079-1088.
- Tugrul, A. 2004, the effect of weathering on pore geometry and compressive strength of selected rock types from Turkey, *Engineering Geology*, 75, 215-227.
- Tugrul, A., Zarif, I.H., 1999, Correlation of mineralogical and textural characteristics with engineering properties of selected granitic rocks from Turkey, *Engineering Geology*, 51, 303-317.
- rban A kesson, Jan Hansson, Jimmy Stigh, 2004, Characterisation of microcracks in the Bohus granite, western Sweden, caused by uniaxial cyclic loading, *Engineering Geology*, 72, 131-142.
- Willard, R.J., McWilliams, I.R., 1969. Microstructure techniques in study of physical properties of rocks. *Int. J. Rock Mech. Min. Sci.* 6, 1-12.