



ارتباط بین ویژگیهای بافتی و مقاومتی در سنگهای آذرین متبلور

علی همتی^{۱*}، محمد غفوری^۲، غلامرضا لشگری پور^۳، حسن مومیوند^۴

۱- دانشجوی دکتری زمین شناسی مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد

۲ و ۳- استاد گروه زمین شناسی، دانشگاه فردوسی مشهد

۴- دانشیار گروه معدن، دانشکده فنی دانشگاه ارومیه

ali58963@gmail.com

چکیده

ارتباط بین ویژگیهای هندسی بافتی با ویژگیهای مقاومتی از دهها سال پیش توسط محققین مختلف بررسی و روابط متفاوت و بعضاً ضد و نقیضی ارائه گردیده است. در این تحقیق مقاطع میکروسکوپی ۱۵ گروه مختلف سنگهای آذرین مورد آنالیز تصویری و کمینه سازی پتروگرافیکی واقع و بانک داده بزرگی از اندازه گیری های هندسی بافتی مشتمل بر حدود ۱۸۰۰۰ عدد کانی ایجاد گردید. مهمترین پارامتر های هندسی بافتی همچون مساحت، محیط و طولیل شدگی، در جوار اندازه گیری های ژئومکانیکی (مقاومت فشاری تک محوری و مقاومت کششی برزیلی) برای سنگهای مورد بررسی تعیین گردید. آنگاه روابط آماری برای تعیین درجه همبستگی خطی بین ویژگیهای هندسی- بافتی با ویژگیهای مقاومتی برقرار گردید. نتایج تحقیق نشان داد که بسیاری از روابط ارائه شده پیشین فقط با محدود نمودن دامنه سنگهای مورد بررسی (به مجموعه سنگهای گرانیتوئیدی) دارای اعتبار میباشند. همچنین معلوم گردید مقاومت کششی برزیلی روابط آشکار و مطمئن تری با ویژگیهای هندسی بافتی نشان می دهد و بعنوان یک تایید بر یافته های پیشین با افزایش اندازه دانه مقاومت کششی برزیلی کاهش می یابد. همچنین معلوم گردید اندازه میانگین مجموعه کانی های مافیک با هر دو ویژگی مقاومتی رابطه عکس دارد. نسبت اندازه کوارتز بر پلاژیوکلاز که برای اولین بار در این تحقیق ارائه شده است تنها متغیر هندسی بافتی است که در بررسی گروهی مجموعه سنگهای آذرین متبلور رابطه معنی داری با مقاومت فشاری تک محوری نشان می دهد و بعنوان یک یافته جدید به منابع علمی معرفی می گردد.

کلمات کلیدی: ارتباط، سنگهای آذرین، مقاومت، کمینه سازی بافتی.

۱- مقدمه

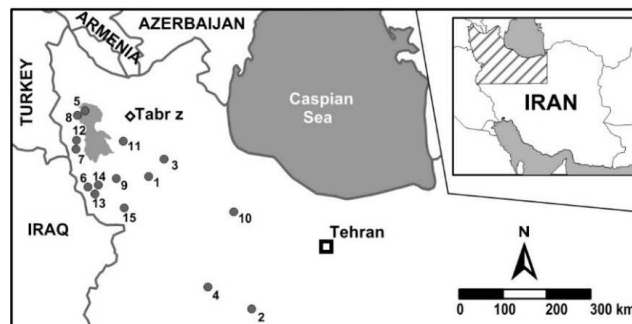
به موازات توسعه روشهای برآورد غیر مستقیم از برخی جهاز های غیر مخرب تلاشهایی نیز برای برآورد مقاومت سنگها از روی ویژگیهای پتروگرافیکی بافتی صورت گرفته است. حدود نیم قرن پیش (Brace, 1961) طی یکسری مطالعات تجربی یک ارتباط خطی معکوس بین حداکثر اندازه دانه و استحکام برخی سنگها بدست آورد. تاثیر نقش منفی اندازه دانه با مقاومت سنگ بعداً توسط سایر محققین روی گرانیت (Åkesson et al., 2001; Eberhardt et al., 1999; Příkryl, 2001; Räisänen, 2004; Seo et al., 2002; Xia et al., 2008) و سایر سنگها تایید گردید. با اینحال بعضاً نتایج متناقض (Sajid et al., 2012) در رد یا کم اعتبار نمودن نقش اندازه دانه در گرانیت گزارش گردیده است. با وجود یافته های برخی محققین دال بر تاثیر منفی محتوای کوارتز بر کاهش مقاومت کششی (Merriam et al., 1970) و مقاومت فشاری تک محوری (Tuğrul and Zarif, 1999)، برخی محققین نقش کوارتز در استحکام سنگهای آذرین را مثبت گزارش نموده اند (Rigopoulos, 2009). برخی مطالعات تجربی حاکی از آن



است که با افزایش محتوای فلدسپار (Miskovsky et al., 2004; Tuğrul and Zarif, 1999) یا محتوای فنوکریست های فلدسپار (Fener and Ince, 2012) و یا افزایش اندازه حداکثر الکالی فلدسپار (Güneş Yılmaz et al., 2011) مقاومت سنگهای گرانیتی کاهش می یابد. در نقطه مقابل (Subramani et al., 2012) افزایش محتوای پلاژیوکلازها را عامل اصلی افزایش مقاومت گرانیت های ساختمانی معرفی می نمایند. (Tuğrul and Zarif, 1999) یک کرلاسیون خطی بین نسبت کوارتز به فلدسپار (QFR) با مقاومت فشاری تک محوری و کششی برزلی بدست آوردند. با اینکه این موضوع توسط (Hajiabdolmajid and Kaiser, 2003) تایید شد اما تحقیقات (Güneş Yılmaz et al., 2011) بی ارتباط بودن این موضوع را نشان داد. (Basu et al., 2009) در بررسی رفتار های مکانیکی تحت فشار گرانیت های برزلی نشان دادند کانی های بیوتیت با جهت یافتگی تصادفی میتواند سبب افزایش مقاومت این سنگها شوند. این موضوع مغایر با یافته های (Kudo et al., 1992) بود که تاکید داشت کانی بیوتیت با تغییر مسیر ناگهانی ترکهای ناشی از تنش منجر به گسیختگی سریعتر سنگهای گرانیت میشود. (Li et al., 2003) باور دارند که کانی بیوتیت رفتاری شبیه تخلخل (voids) بازی می کند و با وجود درصد اندک یک نقش حیاتی در آغازش ترک بازی می کنند. بر طبق (Åkesson et al., 2003) کانی های میکایی (بطور عمده مسکویت و بیوتیت) بطور مستقیم در استحکام سنگ نقش ندارند بلکه در حالت متمرکز با ایجاد صفحات جدایش استحکام سنگ را پایین می آورند. یاغیز (Yagiz, 2009) بیان می کند که ارائه یک رابطه ساده با نظر گرفتن تمام گروه های سنگی معتبر نخواهد بود و روابط باید برای گروه های سنگی مجزا ارائه گردد. این موضوع خیلی وقت پیش توسط (Brace, 1961) نیز تاکید گردیده بود. بررسی تحقیقات پیش حاکی از آن است که با وجود مطالعات متعدد هنوز رابطه بین ویژگی های کانی شناسی بافتی با ویژگی های مقاومتی بویژه در سنگهای آذرین متبلور چندان آشکار نیست و نیاز به مطالعات بیشتری دارد. ازینرو تحقیق اخیر به منظور توسعه دانش ارتباط بین ویژگی های هندسی بافتی با ویژگی های ژئومکانیکی با تمرکز بر روی سنگهای آذرین متبلور انجام پذیرفت.

۲- جمع آوری و آماده سازی نمونه ها

برای انجام این تحقیق مجموعه ای از سنگهای آذرین متبلور متنوع همچون گرانیت، سینیت، گابرو، دیوریت، و غیره که متعلق به معادن سنگ های تزئینی گرانیت شمالغرب کشور می باشند از سنگبری های گرانیت بری تهیه گردید (شکل ۱). در نمونه برداری اولیه ۴۰ نمونه بلوکی سالم و تازه هر کدام به وزن تقریبی ۵۰ کیلوگرم و ابعاد تقریبی ۲۰ تا ۳۰ سانتیمتر جمع آوری و به آزمایشگاه انتقال یافت. آنگاه، با حذف نمونه های معیوب یا دارای آثار آلتراسیون یا درزه، تعداد نمونه ها به ۱۵ عدد تقلیل یافت.



شکل ۱) موقعیت نمونه های جمع آوری شده از معادن گرانیتی شمالغرب کشور



۳- ویژگی های ژئومکانیکی نمونه ها

بکمک دستگاه مغزه گیری آزمایشگاهی با مته سایز NG از هر نمونه سنگ بلوکی ۳ تا ۵ مغزه با طول ۱۲ سانتیمتر برای آزمون های مقاومت فشاری تک محوری و حداقل ۵ مغزه قرصی شکل با ضخامت ۳ سانتیمتر برای آزمون های کششی برزیلی تهیه گردید. کلیه مراحل آماده سازی و تهیه مغزه ها برای انجام آزمون های ژئوتکنیکی مطابق با استاندارد های (ASTM D4543, 2002) انجام پذیرفت. آزمون های تعیین مقاومت فشاری تک محوری مطابق با استاندارد های (ASTM D2938, 2002) و آزمونهای تعیین مقاومت کششی برزیلی مطابق با استاندارد های (ASTM D3967, 2008) با جرا درآمد (جدول ۱).

۴- پتروگرافی

از کله بری مغزه های طولی هر نمونه سنگ، ۲ باریکه مناسب برای تهیه مقاطع میکروسکوپی پتروگرافی اخذ گردید. مقاطع میکروسکوپی نورگذری در راستای عمود بر محور طولی مغزه ها تهیه گردیدند. ویژگیهای پتروگرافی توصیفی نمونه ها با مطالعه مستقیم مقاطع میکروسکوپی در زیر میکروسکوپ پلاریزان انجام گرفت. اما اندازه گیری های کمی پتروگرافی (درصد کانی های تشکیل دهنده) پس از تکمیل مطالعات آنالیز تصویری و با تعیین مساحت اشغال کننده هر کانی تعیین گردید. مزیت تعیین کانی شناسی بروش مساحی آنالیز تصویری دقت بالای آن و حذف خطاهای ناشی از روش تصادفی اندازه گیری مودال سنتی است. در جدول ۱ ویژگیهای ژئومکانیکی و پتروگرافیکی و همچنین طبقه بندی سنگهای مورد بررسی بروش توصیه شده اتحادیه علوم زمین (Streckeisen, 1976) ارائه گردیده است.

جدول ۱) نتایج آزمونهای ژئومکانیکی و درصد کانی شناسی و همچنین طبقه سنگ های مورد بررسی انجمن بین المللی علوم زمین

No	Sample	UCS	BTS	q	a	p	maf	pro	Classification	QAP Diagram
		MPas	MPas	%	%	%	%	%	Streckeisen 1976	
1	AFSH	102.7	8.5	21.9	22.0	50.1	5.8	0.1	Granodiorite	<p>خط منقطع بسته نمونه های سنگی با ترکیب سنگ شناسی نزدیک به گرانیتها (گرانیتوئیدی) را نشان می دهد.</p>
2	ARAK	126.1	12.5	17.9	5.0	48.7	28.1	0.0	Tonalite	
3	DOLF	85.0	6.6	0.0	69.2	25.3	3.8	0.0	Syenite	
4	EKBT	86.3	6.8	14.1	70.2	3.5	11.6	0.1	Quartz alkali feldspar	
5	GBG	114.0	12.2	3.7	17.0	29.8	49.4	0.0	Quartz monzonite	
6	GLT	133.9	12.6	0.0	0.0	64.7	34.8	0.0	Gabbro	
7	GOLM	190.0	12.7	32.6	46.8	17.7	0.9	0.0	Syenogranite	
8	GOSH	149.1	12.0	33.9	62.3	0.9	2.7	0.0	Alkali feldspar granite	
9	KHAL	122.2	8.2	34.4	28.0	32.9	4.4	0.0	Monzogranite	
10	KHOR	98.5	9.0	8.6	71.0	14.2	6.1	0.0	Quartz syenite	
11	MARG	122.8	9.1	0.0	50.4	37.2	9.9	1.1	Foid-bearing monzonite	
12	NARI	79.6	9.8	58.5	30.6	8.4	2.4	0.2	Quartz rich granitoid	
13	PIRB	115.1	7.7	0.0	95.4	0.0	4.6	0.0	Foid-bearing alkali feldspar	
14	PIRG	133.8	9.1	1.1	90.1	0.5	8.3	0.0	Alkali feldspar syenite	
15	SAGZ	83.6	7.8	13.3	4.9	66.2	15.1	0.2	Quartz diorite	



۵- آنالیز تصویری و کمینه سازی ویژگیهای هندسی بافتی

بر خلاف مطالعات پیشین که اندازه گیری های هندسی بافتی آنها متکی بر تصویر برداری نمونه ای از مقاطع میکروسکوپی استوار بود در این تحقیق برای اولین بار کلیه اندازه گیری های کانی شناسی بافتی از تمام یا قسمت عمده ای از سطح پیوسته مقطع میکروسکوپی صورت گرفته است. با این روش برخی خطاهای ناشی از اندازه گیری نمونه برداری تصادفی بویژه در سنگهای با بافت های ناهمگن حذف می گردد. برای نیل به این هدف تصاویر یکپارچه ای از کل سطح مقاطع میکروسکوپی مورد نیاز است. برای اجتناب از اشتباهات ناشی از خصوصیات نوری همچون خاموشی، دوقلوبی و اثرات کانی های همسانگرد، برای هر مقطع میکروسکوپی سه لایه تصویری تهیه گردید: لایه اول با نور معمولی، لایه دوم با فیلتر پلاریزان. لایه سوم با فیلتر پلاریزان اما با چرخش زاویه ای ۴۵ درجه نسبت به لایه دوم. این سه لایه کامل قابل انطباق بر هم بوده و صرفاً از نظر مشخصات نوری با هم متفاوتند. تعداد تصاویر تهیه شده برای پوشش کامل هر لایه هر مقطع میکروسکوپی به ۱۲۰ قطعه عکسی بالغ گردید. بنابراین برای تهیه سه لایه تصاویر مربوط به ۱۵ مقطع میکروسکوپی در مجموع ۵۴۰۰ قطعه عکسی تهیه گردید. از الحاق هر ۱۲۰ قطعه عکسی مجزا در محیط نرم افزاری فتوشاپ یک تصویر پیوسته با ابعاد حدود 10000×12000 پیکسل حاصل گردید.

ترسیم مرز کانی ها همزمان با شناسایی نوع کانی ها با بارگذاری سه لایه تصویری از هر مقطع میکروسکوپی در محیط نرم افزاری JMicroVision انجام پذیرفت. مزیت استفاده از این نرم افزار قابلیت تولید فایل های با فرمت SVG می باشد. فایل های اخیر متعاقباً توسط نرم افزار GIS بارگذاری و ویژگیهای هندسی بافتی همچون مساحت، محیط و طولی شدگی آنها بشکل داده های اولیه تولید و نقشه کانی شناسی بر اساس شکل پلیگونیهای ترسیم شده ایجاد گردید. حاصل این کار های بسیار وقت گیر، ایجاد یک بانک اطلاعاتی کمی از ویژگیهای هندسی بافتی بالغ بر ۱۷۸۴۳ عدد کانی برای ۱۵ تیپ سنگی بود که در طی پردازش های بعدی برای تحلیل های مقاومتی سنگهای مربوطه بکار گرفته شدند. در جدول ۲ خلاصه برخی از مهمترین متغیر های هندسی بافتی محاسبه شده بصورت میانگین کل برای سنگهای مورد مطالعه آورده شده است.

جدول ۲) خلاصه برخی از مهمترین متغیر های هندسی بافتی محاسبه شده برای سنگهای مورد مطالعه

	ضریب فشردگی	ضریب شکل	ضریب گردشگی	ضریب زبری	مستطیل گونی	نسبت ابعادی	قطر معادل میانگین	حجم معادل میانگین	محیط میانگین	مساحت میانگین
AFSH	23.96	0.59	0.49	0.90	0.65	1.78	0.32	0.51	1.51	0.23
ARAK	25.09	0.57	0.48	0.91	0.64	1.77	0.25	0.12	1.20	0.11
DOLF	25.75	0.58	0.49	0.92	0.65	1.76	0.33	0.98	1.69	0.26
EKBT	26.69	0.56	0.47	0.91	0.63	1.85	0.32	0.71	1.66	0.26
GBG	24.20	0.59	0.50	0.91	0.65	1.67	0.20	0.02	0.93	0.05
GLT	24.10	0.61	0.51	0.90	0.65	1.66	0.37	0.29	1.78	0.21
GOLM	24.75	0.58	0.49	0.91	0.65	1.76	0.23	0.08	1.13	0.09
GOSH	23.32	0.61	0.18	0.90	0.65	1.59	0.20	0.14	0.98	0.09
KHAL	23.68	0.60	0.48	0.89	0.64	1.84	0.21	0.30	1.00	0.15
KHOR	23.93	0.60	0.50	0.90	0.66	1.76	0.28	0.42	1.35	0.20
MARG	25.50	0.60	0.52	0.93	0.66	1.67	0.38	0.32	1.97	0.26
NARI	23.43	0.59	0.45	0.84	0.55	1.72	0.23	0.13	1.05	0.12
PIRB	24.60	0.58	0.49	0.91	0.66	1.76	0.42	0.81	2.05	0.41
PIRG	24.64	0.59	0.50	0.91	0.65	1.74	0.32	0.38	1.53	0.23
SAGZ	23.57	0.60	0.51	0.90	0.65	1.67	0.22	0.06	1.02	0.08

مشابه چنین جداولی برای تک تک کانی های اصلی و نیز برای متوسط برخی چندین کانی مثل فلدسپار ها محاسبه گردیده است.

همچنین از تقسیم مقادیر متغیر های کانی های مختلف متغیر های جدیدی بنام متغیر های نسبتی ایجاد و مورد استفاده واقع گردیده است.



۶- آنالیز رگرسیون خطی

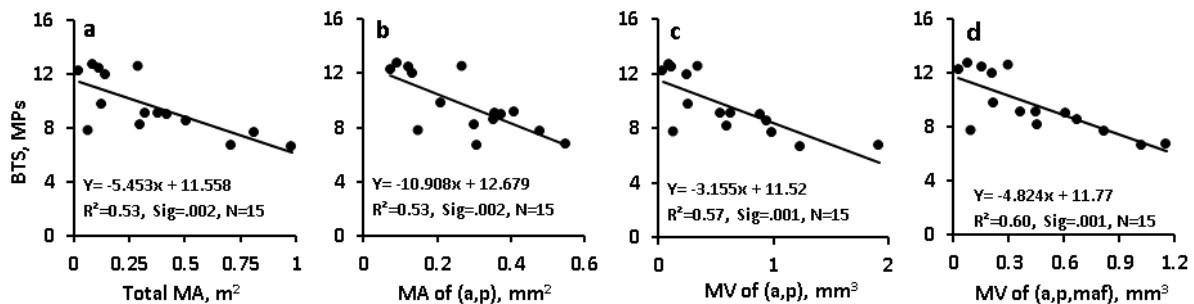
معتبرترین ارتباط خطی بین متغیرهای کمی همبستگی خطی است. در آنالیز رگرسیون خطی بهترین خط برازش بین دو دسته متغیر، از روش کمترین مربعات باقیمانده ها (OLS) تعیین می گردد. درجه و میزان قوت رگرسیون خطی توسط ضریب تبیین (R^2) تعیین می شود. با توجه به اینکه آنالیز رگرسیون خطی با فرض نرمال بودن متغیرهای وابسته و نداشتن همخطی بین داده ای مستقل قابل اعتبار است بنابراین پیش از انجام رگرسیون خطی آزمونهای لازم برای اطمینان از نرمال بودن متغیرهای وابسته مورد پیشگویی (داده های ژئومکانیکی) و عدم وجود ارتباط خطی بین داده های مستقل (داده های هندسی بافتی) بانجام رسید و داده های کم اهمیت موثر در همخطی داخلی متغیرهای مستقل از روند آنالیز رگرسیون حذف گردیدند.

معنی داری ضرایب تبیین (R^2) در سطح اطمینان معین را میتوان از طریق ارزش آماره (P_Value) تعیین نمود. با توجه به تعداد زیاد متغیرهای هندسی مورد آنالیز رگرسیون و برای اجتناب از سردرگمی، ضرایب تبیین آن عده از رگرسیونهای خطی بین متغیرهای هندسی با ویژگیهای مقاومتی که معنی داری آنها در سطح اطمینان ۹۵٪ تایید می گردد ($Sig. \leq 0.05$) در جدول ۳ آورده شده است. جهت آماری ضرایب همبستگی نیز توسط علائم (+ و -) در جلوی هر ضریب تبیین مشخص گردیده است. بدیهی است ردیف های واقعی جداول همبستگی بسیار گسترده بوده که برای اجتناب از شلوغی فقط ردیف های دارای ضرایب تبیین بالا و معنی دار آورده شده اند همچنین سلولهای خالی جدول ضرایب تبیینی است که معنی داری آنها تایید نشده و بمنظور اجتناب از شلوغی از جدول مربوطه حذف گردیده اند.

جدول ۳) مهمترین ضرایب تبیین (R^2) معنی دار در سطح اطمینان ۹۵٪ مربوط رگرسیون بین هر یک از متغیرهای هندسی بافتی متقابل با مقاومت فشاری تک محوری و مقاومت کششی برزیلی. علائم (+ و -) مستقیم یا منفی بودن همبستگی را نشان می دهد.

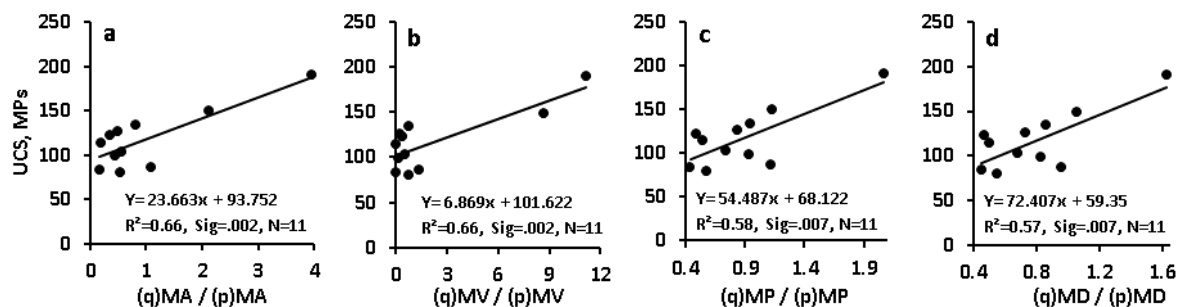
متغیرهای هندسی بافتی ماتریسی	ضریب ضریب ضریب ضریب ضریب	ضریب ضریب ضریب ضریب	ضریب ضریب ضریب ضریب	ضریب ضریب ضریب ضریب	ضریب ضریب ضریب ضریب	ضریب ضریب ضریب ضریب	ضریب ضریب ضریب ضریب	ضریب ضریب ضریب ضریب	ضریب ضریب ضریب ضریب	
ماتریسی	ضریب ضریب ضریب ضریب	ضریب ضریب ضریب ضریب	ضریب ضریب ضریب ضریب	ضریب ضریب ضریب ضریب	ضریب ضریب ضریب ضریب	ضریب ضریب ضریب ضریب	ضریب ضریب ضریب ضریب	ضریب ضریب ضریب ضریب	ضریب ضریب ضریب ضریب	
ave all	-	.36(-)	-	.53(-)	-	-	-	-	-	R ² Related to BTS
max	-	.34(-)	-	.31(-)	.35(-)	-	-	-	-	
(a, p)	.35(-)	.53(-)	.36(-)	.57(-)	.32(-)	-	-	-	-	
(a, maf)	-	.42(-)	-	.51(-)	-	-	-	-	-	
(a, p, maf)	-	.52(-)	.35(-)	.60(-)	.33(-)	-	-	-	-	
q / p	-	.66(+)	.58(+)	.66(+)	.57(+)	-	-	-	-	R ² Related to UCS
q / (a, p)	-	.53(+)	.40(+)	.56(+)	.39(+)	-	-	-	-	
q / (p, bi)	-	.57(+)	.45(+)	.61(+)	.53(+)	-	-	-	-	
q / maf	-	.54(+)	.49(+)	.56(+)	.51(+)	-	-	-	-	
q / (a, p, maf)	-	.51(+)	.38(+)	.53(+)	.37(+)	-	-	-	-	

بر طبق نتایج جدول ۳ هیچ یک از متغیرهای هندسی مربوط به درصد نسبی کانیها (A%) همبستگی با ارزشی با ویژگیهای مقاومتی برقرار نمی کند. در بخش ضرایب تبیین مربوط به مقاومت کششی برزیلی (نیمه بالای جدول) ضرایب تبیین همبستگی های مربوط به حجم میانگین کل، مساحت و حجم میانگین مجموعه فلدسپار ها (a,p) با مقاومت کششی برزیلی بیش از ۵۰٪ است. علیرغم پایین بودن ضریب تبیین، همبستگی فوق معنی دار بوده و نشان می دهد با افزایش اندازه (مساحت و حجم) مقاومت کششی برزیلی کاهش می یابد (نمودارهای a، b و c شکل ۲). با اضافه شدن کانی های تیره (maf) به مجموعه کانی های مورد استفاده در محاسبه میانگین حجم معادل، ضریب تبیین همبستگی فوق با مقاومت کششی برزیلی تا ۶۰٪ افزایش می یابد (نمودار d شکل ۲). در حالت اخیر تقریباً کلیه کانی ها بغیر از کوارتز و تخلخل در محاسبه میانگین هندسی مشارکت نموده اند.



شکل ۲) نمودارهای ارتباط مساحت میانگین کل (a) و مساحت میانگین فلدسپارها (b) و حجم میانگین فلدسپارها (c) و حجم میانگین مجموعه فلدسپارها و کانی های مافیک (a) با مقاومت کششی برزیلی. در روی هر نمودار علاوه بر معادله خطی همبستگی، ضریب تبیین (R^2)، شاخص معنی داری (Sig.) و نیز تعداد نمونه مورد مشارکت در آنالیز همبستگی نیز ارائه شده است.

در بررسی ضرایب تبیین نسبت متغیرهای هندسی در کانی های مختلف (نیمه پایین جدول ۵) ملاحظه می گردد متغیر نسبت میانگین مساحت کوارتز بر پلاژیوکلاز (QPR) که برای اولین بار در این تحقیق ارائه شده همبستگی نسبتا خوبی با مقاومت فشاری تک محوری نشان می دهد (نمودار a شکل ۳). همبستگی مشابهی نیز برای متغیر نسبت کوارتز بر پلاژیوکلاز پارامترهای هندسی حجم معادل، محیط و قطر معادل ملاحظه می گردد (نمودارهای b، c و d شکل ۳). با اینکه توزیع موقعیت نمونه ها در نمودارهای همبستگی های فوق همگن نیست اما محاسبه شاخص ارزش معنی داری نشان می دهند که همبستگی های فوق معنی دار می باشند.



شکل ۳) نمودارهای ارتباط متغیرهای نسبت کوارتز بر پلاژیوکلاز (QPR) پارامترهای هندسی مساحت (a)، حجم (b)، محیط (c) و قطر (d) با مقاومت فشاری تک محوری.

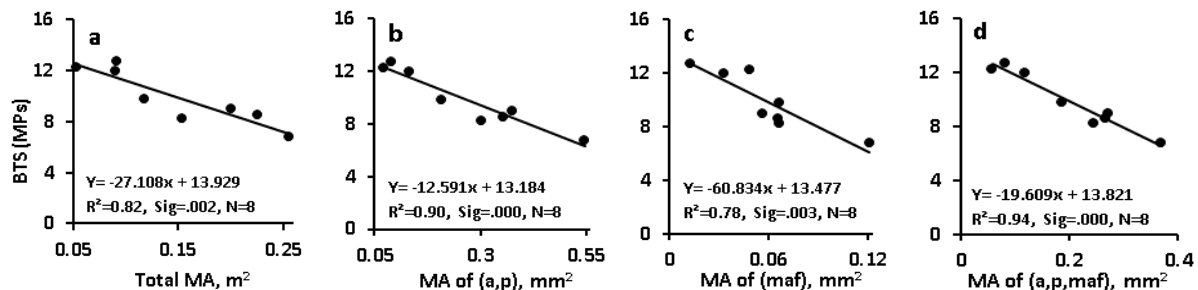
نمودار ضمیمه جدول ۲ موقعیت نمونه های مورد آزمون در دیاگرام بندی سنگهای آذرین درونی بروش اتحادیه علوم زمین را نشان می دهد. نمودار نشان می دهد که نمونه ها طیف گسترده ای از سنگهای آذرین را در بر می گیرند. بمنظور کشف اثرات تنوع کانی شناسی، بار دیگر ضرایب تبیین همبستگی بین پارامترهای هندسی پیشین با ویژگیهای مقاومتی را صرفا برای گروه سنگهای گرانیتوئیدی محاسبه کردیم (مجموعه تفکیک شده با منحنی بسته در شکل ۲). در جدول ۴ نتایج مهمترین ضرایب تبیین معنی دار برقرار شده بین متغیرهای هندسی بافتی با ویژگیهای مقاومتی برای گروه سنگهای تفکیک شده آورده شده است. نمودارهای شکل ۴ و ۵ ارتباط برخی از مهمترین همبستگی های بین متغیرهای هندسی بافتی سنگهای تفکیک شده (تقریبا گرانیتوئیدی) با مقاومت کششی برزیلی و مقاومت فشاری تک محوری را نشان می دهد. همانگونه که ملاحظه می گردد ضرایب تبیین مربوط در مقایسه با موارد مشابه (نمودارهای شکل ۲ و ۳) به نحو بارزی افزایش یافته است.



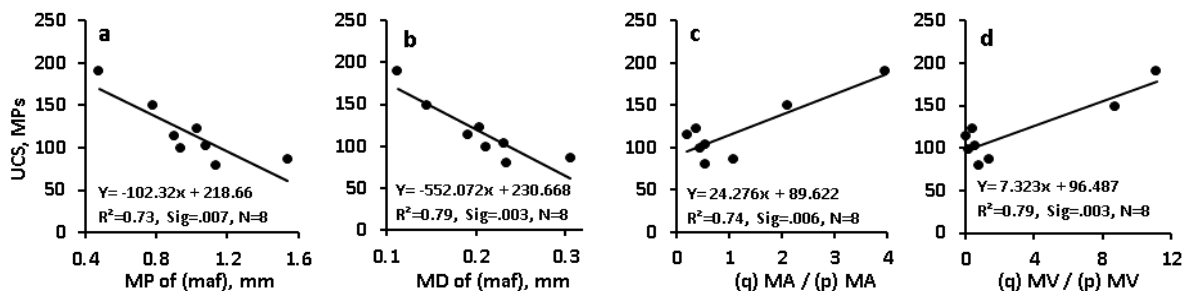
جدول ۴) مهمترین ضریب تبیین R^2 معنی دار در سطح اطمینان ۹۵٪ بین هر یک از متغیرهای هندسی باقی متقابل با مقاومت کششی برزیلی برای نمونه های تفکیک شده گرانیتوئیدی

متغیرهای هندسی باقی ماتریسی	ضریب فشردگی شکل	ضریب گردشگری زبری	ضریب مستطیل گونی	نسبت ابعادی	قطر معادل	حجم معادل	محیط میانگین	مساحت میانگین	درصد کانیها
Ave. all (a, p)	-	-	-	-	.51(-)	.79(-)	.50(-)	.82(-)	-
maf (a, p, maf)	-	-	-	-	.76(-)	.74(-)	.73(-)	.78(-)	-
q / a	-	-	-	-	.55(+)	-	.71(+)	.62(+)	-
maf (a, p, maf)	-	-	-	-	.57(-)	.71(-)	.55(-)	.75(-)	-
q / p	-	-	-	-	.55(+)	.79(+)	.73(-)	.74(+)	-
q / (p, bi)	-	-	-	-	.58(+)	.74(+)	.52(+)	.69(+)	-
q / maf	-	.50(+)	-	-	.67(+)	.67(+)	.62(+)	.67(+)	-
q / (p, maf)	-	-	-	-	.66(+)	.81(+)	.64(+)	.76(+)	-
q / (a, p, maf)	-	-	-	-	.57(+)	.67(+)	.56(+)	.67(+)	-

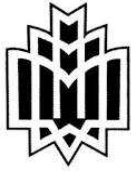
بر اساس نمودارهای اشکال ۴ و ۵ در مجموعه سنگهای تفکیک شده گرانیتوئیدی با افزایش اندازه بویژه اندازه فلدسپار و کانی های مافیک مقاومت کششی به نحو بارزی کاهش می یابد. همچنین با افزایش اندازه کانی های مافیک مقاومت فشارشی تک محوری و مقاومت کششی برزیلی هر دو کاهش می یابد. از طرفی روند افزایش مقاومت فشارشی تک محوری در راستای افزایش نسبت اندازه کوآرتز به پلاژیوکلاز (QPR) همچنان معتبر بوده و در حالت مشارکت مجموعه سنگهای گرانیتوئیدی ضرایب تبیین همبستگی های فوق حدود ۱۰٪ افزایش می یابد.



شکل ۵) نمودارهای ارتباط مساحت میانگین کل (a) و مساحت میانگین فلدسپار (b) و حجم میانگین فلدسپارها (c) و حجم میانگین مجموعه فلدسپارها و کانی های مافیک (a) با مقاومت کششی برزیلی.



شکل ۶) نمودارهای ارتباط مساحت میانگین محیط کل (a) و میانگین قطر کل (b) کانی های مافیک با مقاومت فشاری تک محوری و همچنین نمودارهای ارتباط نسبت مساحت میانگین کوآرتز بر پلاژیوکلاز (c) نسبت حجم میانگین کوآرتز بر پلاژیوکلاز (d) با مقاومت فشاری تک محوری.



۷- نتیجه گیری

بر اساس بررسی های انجام گرفته معلوم گردید تاثیر پارامتر های هندسی بافتی بر روی ویژگیهای مقاومتی سنگهای آذرین متبلور یکسان نیست. بر طبق این نتایج مقاومت کششی برزیلی روابط محسوس تر و آشکار تری با متغیر های هندسی ابعادی همچون مساحت، حجم و قطر نشان می دهد. بطور خلاصه میتوان نتیجه گیری کرد مقاومت کششی برزیلی با افزایش اندازه دانه کاهش می یابد این روند در مورد میانگین کانی های فلدسپار چشمگیر تر است. بعلاوه با اضافه شدن مجموعه کانی های مافیک به مجموعه فلدسپار ها (a,p,maf) ضرایب تبیین ارتباط معکوس فوق تا ۹۴٪ افزایش می یابد در حالت اخیر تمام کانی ها بغیر از (کوارتز و تخلخل و نیز کانی های ثانویه همچون کلریت و سریزیت) در محاسبه میانگین اندازه متغیر های هندسی (همچون مساحت و حجم) مشارکت نموده اند. ظاهرا حضور کوارتز در محاسبات هندسی ترفیع ضرایب همبستگی را با مشکل مواجه می سازد. چون کوارتز در آخرین مرحله تبلور ماگمایی فضاها را باقیمانده را پر می کند بنابراین اندازه و شکل آن تابع اندازه و شکل فضاها باقیمانده خواهد بود. بنابراین شکل و اندازه کوارتز نمی تواند یک فاکتور موثر در محاسبات هندسی بافتی باشد از اینرو است که مشارکت کانی کوارتز در محاسبات هندسی بافتی منجر به ایجاد سردرگمی می شود.

تعیین نسبت میانگین بین دو کانی کوارتز بر پلاژیوکلاز (QPR) که اولین بار در این تحقیق ارائه شده است اثر مبهم کوارتز در محاسبات هندسی را تا حدودی تعدیل می کند. در مقایسه با نسبت درصد کانی شناسی QFR ارائه شده در منابع پیشین نسبت (QPR) محاسبه شده برای پارامتر های هندسی مساحت و حجم همبستگی محسوس تری با مقاومت فشاری تک محوری نشان می دهد. اما نتایجی دال بر تاثیر مستقیم اندازه کانی کوارتز با مقاومت فشاری تک محوری در این تحقیق بدست نیامد. با جایگزینی مساحت مستطیل معادل و مساحت دایره معادل نتایج مشابه و ضرایب تبیین حتی اندکی افزایش می یابند. مساحت مستطیل معادل و مساحت دایره میتواند بعنوان یک اندازه بنیادین در محاسبات هندسی کانی ها بجای مساحت مستقیم کانی ها بکار گرفته شود. این جایگزینی باعث تسریع و صرفه جویی زمان در محاسبات هندسی بافتی می گردد.

از دیگر ویژگیهای تحقیق اخیر مشارکت انواعی از سنگهای آذرین با تنوع وسیع کانی شناسی و بافتی است. با محدود نمودن نمونه های مورد آزمون به مجموعه سنگهای گرانیتوئیدی و مشابه آنها ضرایب همبستگی نه نحو مطلوبی افزایش می یابد. نتیجه فوق توسط محققین پیشین نیز تاکید گردیده است. وقتی نمونه ها فیلتره و نمونه های با ترکیب مشابه (تقریبا گرانیتوئیدی) در آنالیز رگرسیون مشارکت داده می شوند یک نتیجه قابل استناد به هر دو ویژگی استحکامی سنگ تثبیت می شود: با درشت تر شدن اندازه میانگین مجموعه کانی های مافیک، هر دو ویژگی مقاومتی فشاری و کششی به نحو بارزی کاهش می یابند.

منابع

- Åkesson, U., Lindqvist, J., Göransson, M., Stigh, J., (2001). Relationship between texture and mechanical properties of granites, central Sweden, by use of image-analysing techniques. Bull. Eng. Geol. Environ. 60, 277–284.
- Åkesson, U., Stigh, J., Lindqvist, J.E., Göransson, M., (2003). The influence of foliation on the fragility of granitic rocks, image analysis and quantitative microscopy. Eng. Geol. 68, 275–288.
- ASTM D2938, (2002). Standard Test Method for Unconfined Compressive Strength of Intact Rock Core Specimens (1995, Reapproved 2002). American Society for Testing and Materials. Philadelphia, PA.
- ASTM D3967, (2008). Standard Test Method for Splitting Tensile Strength of Intact Rock Core Specimens. ASTM International, West Conshohocken, PA.
- ASTM D4543, (2002). Standard Practices for Preparing Rock Core as Cylindrical Test Specimens and Verifying Conformance to Dimensional and Shape Tolerances. ASTM International, West Conshohocken, PA.



- Basu, A., Celestino, T.B., Bortolucci, A.A., 2009. Evaluation of rock mechanical behaviors under uniaxial compression with reference to assessed weathering grades. *Rock Mech. Rock Eng.* 42, 73–93.
- Brace, W.F., (1961). Dependence of fracture strength of rocks on grain size, in: Hartman, H.L. (Ed.), 4th Symposium on Rock Mechanics, 30 Mar. -1 Apr. 1961. Pennsylvania State University, Pennsylvania, pp. 99–103.
- Eberhardt, E., Stimpson, B., Stead, D., 1999. The influence of mineralogy on the initiation of microfractures in granite, in: 9th ISRM Congress, 25-28 August 1999. A.A. Balkema, Paris, pp. 1007–1010.
- Fener, M., Ince, I., (2012). Influence of orthoclase phenocrysts on point load strength of granitic rocks. *Eng. Geol.* 141-142, 24–32.
- Güneş Yılmaz, N., Mete Gökten, R., Kibici, Y., Mete Gökten, R., Kibici, Y., (2011). Relations between some quantitative petrographic characteristics and mechanical strength properties of granitic building stones. *Int. J. Rock Mech. Min. Sci.* 48, 506–513.
- Hajjabdolmajid, V., Kaiser, P., (2003). Brittleness of rock and stability assessment in hard rock tunneling. *Tunn. Undergr. Sp. Technol.* 18, 35–48.
- Kudo, Y., Sano, O., Murashige, N., Mizuta, Y., Nakagawa, K., (1992). Stress-induced crack path in Aji granite under tensile stress. *Pure Appl. Geophys.* 138, 641–656.
- Li, L., Lee, P.K.K., Tsui, Y., Tham, L.G., Tang, C.A., (2003). Failure Process of Granite. *Int. J. Geomech.* 3, 84–98.
- Merriam, R., Rieke, H.H., Kim, Y.C., 1970. Tensile strength related to mineralogy and texture of some granitic rocks. *Eng. Geol.* 4, 155–160.
- Miskovsky, K., Taborda Duarte, M., Kou, S.Q., Lindqvist, P.-A., (2004). Influence of the Mineralogical Composition and Textural Properties on the Quality of Coarse Aggregates. *J. Mater. Eng. Perform.* 13, 144–150.
- Přikryl, R., (2001). Some microstructural aspects of strength variation in rocks. *Int. J. Rock Mech. Min. Sci.* 38, 671–682.
- Räisänen, M., (2004). Relationships between texture and mechanical properties of hybrid rocks from the Jaala – Iitti complex, southeastern Finland. *Eng. Geol.* 74, 197–211.
- Rigopoulos, I., (2009). Correlation between petrographic and physico-mechanical properties of the Pindos and Vourinos ophiolitic rocks and assessment of their. Ph.D. Thesis. University of Patras, Greece.
- Sajid, M., Arif, M., Shah, M.T., (2012). Correlation between petrographic characteristics and physico-mechanical properties of granitic rocks from the Utla area, Gadoon (Swabi), NW Pakistan. *J. Himal. Earth Sci.* 45.
- Seo, Y.S., Jeong, G.C., Kim, J.S., Ichikawa, Y., (2002). Microscopic observation and contact stress analysis of granite under compression. *Eng. Geol.* 63, 259–275.
- Streckeisen, A., (1976). To each plutonic rock its proper name. *Earth-Science Rev.* 12, 1–33.
- Subramani, T., Srinivasalu, S., Nagarajan, R., (2012). Implication of Petrography and Geochemistry on Engineering Properties of Building Stones. *Int. J. Eng. Phys. Sci.* 6, 377–382.
- Tuğrul, A., Zarif, I.H., (1999). Correlation of mineralogical and textural characteristics with engineering properties of selected granitic rocks from Turkey. *Eng. Geol.* 51, 303–317.
- Xia, K., Nasser, M.H.B., Mohanty, B., Lu, F., Chen, R., Luo, S.N., (2008). Effects of microstructures on dynamic compression of Barre granite. *Int. J. Rock Mech. Min. Sci.* 45, 879–887. doi:10.1016/j.ijrmms.2007.09.013
- Yagiz, S., (2009). Predicting uniaxial compressive strength, modulus of elasticity and index properties of rocks using the Schmidt hammer. *Bull. Eng. Geol. Environ.* 68, 55–63.