



بررسی تاثیر ویژگیهای بافتی بر مقاومت سنگهای گرانیتی بکمک آنالیز تصویری میکروسکوپی

علی همتی^۱، محمد غفوری^۲، غلامرضا لشگری پور^۳، حسن مومیوند^۴
۱- دانشجوی دوره دکتری دانشگاه فردوسی مشهد و کارشناس بخش زمین شناسی دانشگاه ارومیه
۲-۳-۳۰۲- استادیار بخش زمین شناسی دانشگاه فردوسی مشهد
۴- استادیار بخش معدن دانشکده فنی دانشگاه ارومیه

ali58963@gmail.com

خلاصه

بررسی تنوع بافتی کانی شناسی و اثر آنها روی رفتارهای مقاومتی هدف این تحقیق بوده است. ۱۵ تیپ مختلف سنگ آذرین بلورین که از نظر مهندسی عمران گرانیت تلقی میشوند پس از مغزه گیری و تعیین مقاومت فشاری و کششی اقدام به تهیه مقاطع میکروسکوپی نورگذر گردید. مقاطع تهیه شده تماماً بطور موزائیک در سه لایه مختلف بر اساس وضعیت نور پلاریزه تصویر برداری شدند. پس از پردازش لایه های تصاویر و ترسیم مرز و شکل هندسی کانی های تشکیل دهنده بانک اطلاعاتی مشخصات هندسی بافتی هر سنگ تهیه و داده های حاصل با داده های مقاومتی هر سنگ مورد کرلاسیون خطی واقع گردید. نتایج مطالعات برغم تنوع وسیع سنگ شناسی و دامنه توزیع ابعادی حدود هزار برابر اندازه کانی ها قابل توجه بود: نسبت اندازه میانگین کوارتز بر اندازه میانگین پلاژیوکلاز بدون توجه به نوع و تیپ سنگ آذرین مورد بررسی همبستگی خوبی با ویژگی های مقاومتی برقرار نمود.

کلمات کلیدی: آنالیز تصویری، اثرات بافتی، کانی شناسی، گرانیت، مقاومت سنگ.

۱. مقدمه

مقاومت سنگها از مهمترین پارامترهای ضروری در اجرای پروژه های مهندسی با بستر یا تکیه گاه سنگی است. تهیه نمونه مغزه استاندارد سالم از سنگهای گرانیتی برای تعیین مقاومت فشاری یا کششی بسیار وقت گیر و پر هزینه بوده و در اکثر حالات بدلیل هوازدگی و خرد شدگی، تهیه نمونه سالم یا استاندارد مقدور نمی باشد. علیرغم توسعه روشهای تخمین غیر مستقیم سریع برای تعیین مقاومت سنگها و مصالح، بدلیل تنوع وسیع بافتی کانی شناسی گرانیت ها، معادلات همبستگی ارائه شده برای برآورد مقاومت سنگهای گرانیتی از روشهای غیر مستقیم همچون چکش اشमित متنوع و غیر قابل انطباق با همدیگر است. در این راستا برخی محققین سعی نموده اند ویژگیهای مقاومتی سنگها را از طریق کمینه سازی ویژگی های بافتی شبیه سازی نمایند. با توجه به ابعاد ریز و حجم بسیار زیاد کانی در مقاطع میکروسکوپی سنگها تمامی مطالعات پیشین بر مبنای نمونه برداری سیستماتیک یا تصادفی از مقاطع میکروسکوپی عموماً یک تیپ سنگی ویژه صورت گرفته بود. در این تحقیق برای اولین بار مطالعات بر مبنای تصویر برداری کامل از کل سطح مقاطع میکروسکوپی صورت گرفته است. ضمن اینکه تقریباً دامنه وسیعی از سنگهای آذرین بلورین (تا دیوریت و گابرو) که از دیدگاه تجاری و علوم مهندسی غیر از زمین شناسی و پترولوژی از آن به گرانیت تعبیر میشود بطور گروهي مورد ارزیابی واقع گردیده است.

پیشینه اولین مطالعات مربوط به بررسی ارتباط بین پارامترهای بافتی کانی شناسی با ویژگی های مقاومتی بکمک مطالعات میکروسکوپی نوری به خان (۱۹۶۵) و آندریا و همکاران (۱۹۶۵) برمی گردد. یک دهه بعد مریام و همکاران (۱۹۷۰) رابطه معکوس بین استحکام کششی انواعی از گرانیت های کالیفرنیا با میزان کانی کوارتز را نشان داد. بعدها انودریا و کامورا (۱۹۸۰) گزارش نمودند که در سنگهای آذرین با افزایش اندازه دانه ها مقاومت بطور موثری کاهش می یابد. گانسالوس و کالهو (۱۹۸۴) در بررسی خود روی سنگهای رسوبی با همبستگی رابطه مثبت مقاومت فشاری با مقدار کوارتز را نشان دادند. روابط مشابهی توسط شکور و همکاران (۱۹۹۱) برای ماسه سنگهای مورد مطالعه گزارش گردید. براتلی (۱۹۹۲) نشان داد در

^۱ دانشجوی دوره دکتری رشته زمین شناسی مهندسی دانشگاه فردوسی مشهد و کارشناس بخش زمین شناسی دانشگاه ارومیه

^۲ و ^۳ استادیار بخش زمین شناسی دانشگاه فردوسی مشهد

^۴ استادیار بخش مهندسی معدن دانشکده فنی دانشگاه ارومیه



سنگهای آذرین رابطه افزایش مقاومت با کاهش اندازه اصلی دانه ها در دانه های زیر یک میلیمتر خیلی قوی تر است. طغرل و ظریف (۱۹۹۹) در یک مطالعه گسترده بر روی ۱۹ تیپ سنگ گرانیتی از نقاط مختلف ترکیه گزارش نمودند که مقاومت گرانیت های واقعی با افزایش میزان کوارتز بالا و با افزایش میانگین اندازه دانه کاهش می یابد. به نظر نامبردگان تغییرات میزان کوارتز و فلدسپار مهمترین فاکتور متاثر کننده ویژگی های مکانیکی است. در حالی که زورلو و همکاران (۲۰۰۴) در بررسی های پتروگرافی خود روی ماسه سنگها هیچ رابطه معنی داری بین مقاومت فشاری تک محوری با پارامتر شکل دانه کشف نکردند. با آغاز قرن ۲۱ و پیشرفت تکنولوژی در ساخت و توسعه انواع میکروسکوپیهای پلاریزه، فلورسانس، الکترونی و اسکن الکترونی (SEM) و نیز ابلاغ شیوه های نوین آنالیز و پردازش تصویری، پیشرفتهای با ارزشی در زمینه بافتهای میکروسکوپی علوم گوناگون منجمله پزشکی، متالوژی، مقاومت مصالح و خوردگی بدست آمد. پریکریل (۲۰۰۶) با مطالعه سنگهای بلورین آذرین و دگرگونی با ترکیب در حد گرانیت (کوارتز مونزونیتی) و با بهره گیری از آنالیز تصویری نشان داد که بجز اندازه دانه هیچ یک از ضرایب فابریکی همبستگی قوی با ویژگی های مکانیکی سنگها ندارند. پومونیس و همکاران (۲۰۰۷) با مطالعه روی نمونه سنگهای آتشفشانی تاکید کردند که ترکیب کانی شناسی یکی از مهمترین فاکتور های کنترل کننده ویژگی های فیزیکی مکانیکی سنگ است. آنها همچنین نشان دادند که میزان پلاژیوکلاز در ویژگی های مکانیکی سنگها تاثیر منفی دارد. نتایج متفاوت و بعضا ضد و نقیض ارائه شده در بررسی های صورت گرفته بیانگر پیچیدگی رفتار بافت و فابریک روی مقامت سنگها بوده و لزوم بررسی های تکمیلی با شیوه های نوین تکنولوژی برای کشف اثرات بافت و فابریک روی ویژگیهای مقاومتی سنگها را آشکار می سازد.

۲. آزمون های ژئوتکنیکی

نمونه سنگهای لازم این پژوهش لاشه سنگهای گرانیتی سالم موجود در سنگبری های شمالغرب کشور تهیه گردیدند. بطور اولیه ۴۰ نمونه سنگ آذرین بلورین با اشکال نسبتا هندسی به ابعاد تقریبی ۳۰ سانتیمتر جمع آوری گردید. پس از بررسی دقیق تر نمونه های هوازده و دارای آثار درز و شکاف و نیز نمونه های ناهمسان (دارای بافت جهت دار) و با کیفیت پایین مجموعا ۱۵ نمونه سنگ آذرین بلورین که از دیدگاه تجاری یا مهندسی عمران گرانیت تلقی میشوند ولی از دیدگاه پترولوژی و زمین شناسی ممکن است نامهای گوناگونی داشته باشند برای مراحل مختلف پژوهش انتخاب گردید. متعاقبا مراحل زیر بر روی هر نمونه بلوکی با اجرا در آمد. در جدول شماره ۱ نتایج آزمون های ژئوتکنیکی انجام یافته خلاصه گردیده است.

- حفاری آزمایشگاهی و تهیه حداقل ۳ نمونه مغزه طولی با قطر NG از هر تیپ سنگی
- تهیه حداقل ۳ نمونه مغزه استاندارد طولی با نسبت طول به عرض حداقل ۲ برای انجام آزمون های تک محوری فشاری
- تهیه حداقل ۵ نمونه مغزه استاندارد با ارتفاع حداقل ۳ سانتی متر برای انجام آزمون های کششی برزیلی
- تعیین مقاومت فشاری تک محوری و مقاومت کششی برزیلی بر روی مجموعا ۵۰ نمونه مغزه فشارشی و ۵۰ نمونه مغزه کششی
- تمام مراحل آماده سازی و تهیه مغزه ها برای آزمون های فشاری و کششی مطابق با توصیه های ASTM 2002 و ISRM 1981 صورت گرفت.

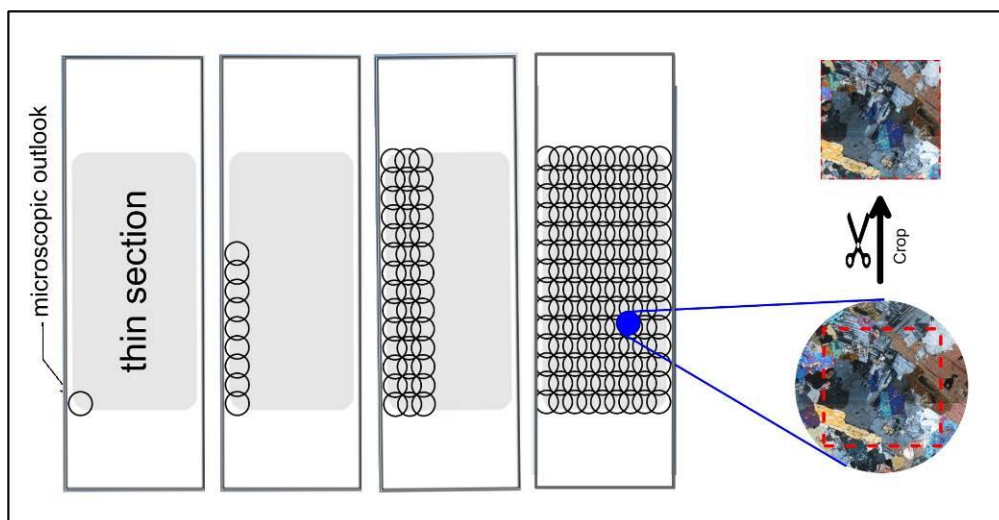
جدول ۱: نتایج آزمون های ژئوتکنیکی انجام یافته بروی ۱۵ تیپ سنگ گرانیتی (آذرین بلورین)

نمونه	مقاومت فشاری تک محوری (Mps)			مقاومت کششی (Mps)		
	Ave	Max	Min	Ave	Max	Min
AFSH	102.69	114.55	80.17	8.54	10.31	7.17
ARAK	126.08	133.25	118.50	12.47	13.61	10.21
DOLF	85.03	100.08	64.11	6.65	6.80	6.42
EKBT	86.28	92.10	75.45	6.76	7.84	5.55
GBG	114.02	151.12	89.29	12.23	13.41	10.94
GLT	133.86	154.58	96.32	12.59	14.84	10.06
GOLM	190.05	214.24	169.58	32.87	39.10	29.30
GOSH	152.09	152.09	152.09	30.30	30.30	30.30
KHAL	122.17	137.99	106.00	21.45	24.80	16.70
KHOR	98.47	125.50	82.81	8.99	10.26	7.86
MARG	122.79	124.01	121.39	9.11	10.64	7.90
NARI	79.57	90.67	68.54	9.79	12.38	8.09
PIRB	115.14	131.13	101.99	7.69	8.83	6.40
PIRG	133.77	144.22	113.03	9.09	13.06	5.88
SAGZ	83.57	106.39	65.75	7.83	8.85	6.94

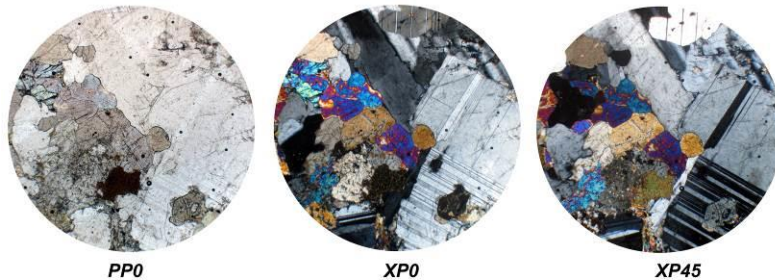
۳. پتروگرافی و آنالیز تصویری

یکی از ویژگی های مشترک تمام مطالعات پیشین صورت گرفته بررسی بافتی کانی شناسی مقاطع میکروسکوپی بصورت نمونه برداری منظم یا تصادفی است. در این تحقیق برای اولین بار مقاطع میکروسکوپی تهیه شده از ۱۵ تیپ سنگ آذرین بلورین بطور کامل و سیستماتیک تصویربرداری و پارامترهای هندسی بافتی بر مبنای اندازه گیری های هندسی کل مقاطع میکروسکوپی استخراج گردیده است. با این روش ابداعی برخی خطاهای ناشی از اندازه گیری میکروسکوپی روتین (نمونه برداری سیستماتیک شبکه ای یا تصادفی) که در سنگهای با بافت های ناممکن بسیار بالاست حذف و روابط بر مبنای مشاهدات و کنترل بصری کل مساحت مقطع میکروسکوپی بعنوان المان نماینده سنگ مربوطه می باشد صورت گرفته است. برای انجام آنالیز تصویر از هر نمونه سنگی حداقل ۲ مقطع میکروسکوپی نازک نورگذر در راستای عمود بر طول مغزه ها تهیه گردید. مطالعات اولیه کانی شناسی بافتی و نیز تصویر برداری کلیه مقاطع توسط میکروسکوپ پلاریزان (Olympus) صورت گرفت. مراحل بررسی های میکروسکوپی و کمیته سازی بافتی بروش آنالیز تصویری بشرح زیر صورت گرفته است:

۳-۱) تصویر برداری موزائیکی، پردازش تصاویر و تهیه موزائیک تصاویر: برای تهیه یک موزائیک کامل از هر مقطع میکروسکوپی ۱۲۰ قطعه عکسی با بزرگنمایی کلی ۴۰ برابر توسط دوربین دیجیتالی و با همپوشانی ۳۰٪ از هر طرف انجام گرفت. برای حذف اثرات خاموشی در شناسائی دقیق مرز و نوع کانی ها، تصویر برداری موزائیکی هر مقطع در سه لایه متفاوت صورت پذیرفت: لایه اول موزائیک تصاویر با نور معمولی (غیر پلاریزه)، لایه دوم موزائیک تصاویر با فیلتر پلاریزان در راستای محور طولی مقطع. لایه سوم موزائیک تصاویر با فیلتر پلاریزان با زاویه ۴۵ درجه نسبت به لایه دوم. بدین ترتیب تعداد عکسهای موزائیکی برای هر مقطع میکروسکوپی به ۳۶۰ قطعه بالغ گردید. با توجه به وجود ۱۵ مقطع میکروسکوپی از ۱۵ نمونه سنگ گرانیتی متفاوت، در مجموع ۵۴۰۰ قطعه عکس موزائیکی به روش گفته شده تهیه گردید. درجه تفکیک افقی و قائم هر تصویر 180 dpi و ابعاد هر تصویر ۱۲۰۰ × ۱۶۰۰ پیکسل بود. میدان دید کامل هر تصویر با توجه به بزرگنمایی بکار رفته دایره ای به قطر ۴/۵ میلیمتر می باشد اما بدلیل عدم انطباق کامل تصاویر دایره ای در کنار هم، تصویر برداری از هر طرف با همپوشی حداقل ۳۰٪ از هر طرف صورت پذیرفت. در مرحله بعد هر یک از تصاویر دایره ای با برش حاشیه های غیر مفید به تصاویر مربعی با ابعاد مفید ۳/۱۲۵ میلی متر تبدیل گردید. در مرحله بعد هر یک از تصاویر تهیه شده در محیط نرم افزاری فتوشاپ در کنار هم منطبق شده و پس از حذف برخی اعوجاجات تصویر بین تصاویر مکمل بهمديگر چسبانده شده و نهایتاً برای هر مقطع سه لایه تصویری موزائیکی با ابعاد ۱۰۰۰۰ × ۱۲۰۰۰ پیکسل با همان درجه تفکیک اولیه ایجاد گردید. شکل (۲) سه لایه تصویر تهیه شده از یک میدان دید یک مقطع میکروسکوپی را نشان می دهد. شکل ۱ مراحل تصویر برداری موزائیکی و آماده سازی یک قطعه عکسی مربعی و شکل ۲ سه لایه تصویری متفاوت از یک قطعه عکسی از یکی از مقاطع میکروسکوپی را نشان می دهد.

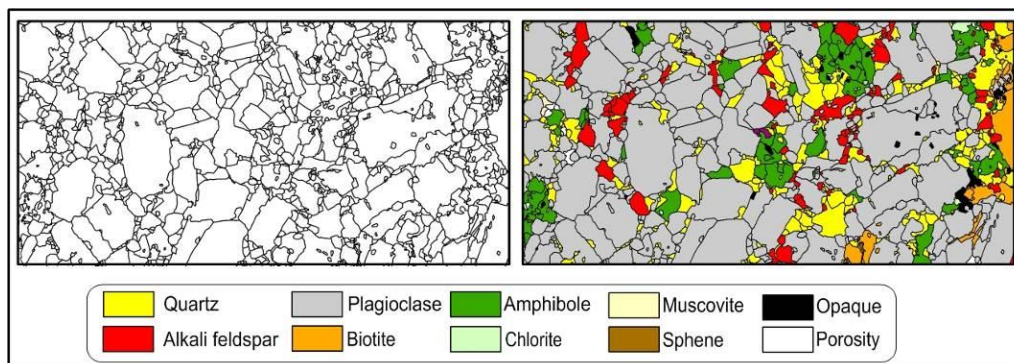


شکل ۱) تصویر برداری موزائیکی و آماده سازی یک قطعه عکسی مستقل برای تهیه موزائیک تصاویر یک لایه



شکل ۲) سه لایه قابل انطباق از یک قطعه عکسی میکروسکوپی قبل از پردازش: لایه PP0 تصویر با نور معمولی، لایه XP0 تصویر با فیلتر پلاریزان و و موازی محور طولی مقطع و XP45 لایه تصویری با فیلتر پلاریزان با زاویه ۴۵ درجه نسبت به لایه دوم.

۳-۲) آنالیز تصویری، شناسایی و ترسیم مرز کانی ها و انجام محاسبات هندسی: عملیات شناسایی و ترسیم مرزهای هر کانی با بارگذاری سه لایه موزائیک از هر نمونه سنگ در محیط نرم افزاری JMicroVision و بصورت بصری انجام پذیرفت. با توجه به مشاهدات بصری بخشی از تصاویر موزائیک که بافت نسبتاً یکنواختی داشت و نماینده توزیع اندازه و تنوع کانی شناسی تمام مشاهدات تصویر موزائیک بود بعنوان منطقه انتخابی برای مطالعه، شمارش و ترسیم مرز کانی ها انتخاب گردید. اندازه این منطقه بسته به اندازه و یکنواختی مقطع بین ۶/۵ تا ۵۵ درصد (جدول ۲) کل مساحت موزائیک تصاویر را در بر می گرفت. عملیات مرزبندی کانی ها یک پروسه بسیار وقت گیر بود که بیش از ۴ ماه بطول انجامید. دقت آنالیز تصویری برای شناسایی و ترسیم مرز کانی ها در حالت طولی ۲۰ پیکسل یا ۰/۰۴ میلی متر و در حالت دویبعی ۰/۰۰۲ میلی متر مربع بوده است. با توجه به اینکه نرم افزار JMicroVision لایه گرافیکی ترسیمی را با فرمت Scalable Vector Graphics (SVG) ذخیره می کند و قابلیت تولید فایل های با قابلیت محاسباتی مثل DXF یا shp را ندارد لذا فایل های SVG ایجاد شده طی یکسری عملیات پی در پی به کمک نرم افزار های Adobe Illustrator CS6 و Xara Photo & Graphic Designer به با فرمت شکلی (shp) تبدیل شدند. در مرحله بعد فایل های شکلی بکمک نرم افزار Surfer 10 به فرمت DXF (Drawing Exchange Format) تغییر یافتند. آنگاه فایل های DXF توسط نرم افزار ArcMap 10 بازخوانی و پس از تبدیل خطوط باز (Polylines) به چند ضلعی های بسته (polygon) محاسبات پارامتر های هندسی چون مساحت، محیط، طول و عرض، گرد شدگی، طولیل شدگی و غیره توسط محیط فیلد نرم افزار و الحاقیه های (Extensions) فرعی نرم افزار صورت پذیرفت. با توجه به اینکه ساخت فایل DXF توسط محیط نرم افزاری Surfer 10 اندازه و مقیاس اصلی تغییر می کند انجام عملیات محاسبه بزرگنمایی و میزان تغییر مقیاس بین دو نرم افزار JMicroVision و ArcMap و اعمال این تغییر مقیاس در پلیگونها ایجاد شده ضروری است. عملیات پتروگرافی و شناسایی کانی ها بطور بصری در محیط نرم افزاری JMicroVision انجام و آنگاه با شیفت به محیط نرم افزاری ArcMap در فیلد فایل های شکلی مربوطه اعمال و ثبت گردیده است. حاصل این کار های بسیار وقت گیر تهیه نقشه کانی شناسی هر نمونه سنگی بصورت گرافیکی با رنگها و علائم مربوط به هر کانی است (شکل ۳). در این عملیات بالغ بر ۱۷۸۴۳ عدد کانی شناسایی و مرزبندی گردیدند. در شکل ۳ نقشه کانی شناسی گرافیکی مقطع میکروسکوپی یکی از نمونه های سنگی و در جدول ۲ مشخصات آماری اندازه گیری های هندسی مربوط به ۱۵ نمونه سنگی نشان داده شده است.



شکل ۳): نقشه کانی شناسی گرافیکی یکی از نمونه ها (SAGZ). سمت چپ مرز بندی اولیه کانی ها و سمت راست نقشه کانی شناسی کانی ها به تفکیک رنگ می باشد که پس از شناسایی کانی ها ایجاد گردیده است.



جدول ۲: مشخصات آماری اندازه‌گیری‌های هندسی مربوط به ۱۵ تیپ سنگی مورد بررسی

Sample	Thin.sec. eff. area (mm)	Meas. area (mm)	Meas. area (%)	Mineral count	M.area (mean)	M.area (min)	M.area (max)	M.area (variance)	M.area (S.Dev)	M.area (skew)	M.area (kurtosis)
AFSH	544.09	199.17	36.61%	884	0.23	0.000715	39.59	2.111	1.453	23.02	612.95
ARAK	494.56	130.49	26.39%	1190	0.11	0.000080	8.77	0.184	0.429	11.76	182.81
DOLF	561.80	200.64	35.71%	780	0.26	0.001255	74.85	7.311	2.704	27.03	746.17
EKBT	544.08	471.53	86.67%	1844	0.26	0.000602	43.12	3.130	1.769	16.58	318.79
GBG	477.32	30.80	6.45%	579	0.05	0.000686	1.18	0.012	0.111	5.18	36.17
GLT	607.43	226.31	37.26%	1081	0.21	0.001871	19.56	0.663	0.814	16.05	333.52
GOLM	575.73	164.21	28.52%	1800	0.09	0.000679	4.79	0.105	0.324	8.19	83.00
GOSH	532.82	129.20	24.25%	1426	0.09	0.000825	12.62	0.358	0.598	15.80	282.56
KHAL	505.71	277.65	54.90%	1802	0.15	0.000210	14.44	0.739	0.860	10.12	122.79
KHOR	451.60	204.88	45.37%	1021	0.20	0.000744	18.49	1.223	1.106	11.57	160.01
MARG	532.25	160.90	30.23%	617	0.26	0.000835	7.77	0.443	0.666	5.34	39.67
NARI	492.25	158.33	32.16%	1347	0.12	0.000472	6.43	0.164	0.405	7.39	76.35
PIRB	536.13	334.18	62.33%	821	0.41	0.000779	19.02	2.060	1.435	8.07	83.46
PIRG	537.75	205.56	38.23%	895	0.23	0.000512	14.01	0.799	0.894	8.51	94.65
SAGZ	504.66	144.78	28.69%	1756	0.08	0.000577	3.40	0.054	0.233	7.30	73.92

نتایج محاسبات دوبعدی ابعاد هندسی کانی‌های دربرگیرنده و نقشه کانی‌شناسی مقاطع ضمن ارائه نسبت و چیدمان بافتی کانی‌های تشکیل دهنده برای کمینه‌سازی عددی بافت و فابریک سنگ و استفاده از آن برای بررسی نقش مقدار و ابعاد کانی‌های تشکیل دهنده در رفتار مقاومتی سنگ بکار گرفته شده است. در جدول ۳ درصد کانی‌های تشکیل دهنده هر سنگ بر اساس اندازه‌گیری‌های مساحی سطح کانی‌ها آورده شده است.

جدول ۳: درصد کانی‌های تشکیل دهنده هر سنگ بر اساس اندازه‌گیری‌های مساحی سطح کانی‌ها

Sample	Mineralogy by image analyses counting																		
	Q	A	P	F	bi	am	Px	Ol	cl	ep	ap	tor	mos	sr	sp	zr	op	ca	pro
AFSHG	21.91	22.01	50.08	0.00	2.06	3.24	0.00	0.00	0.05	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.36	0.00	0.15	0.00	0.13
ARAK	17.86	5.01	48.73	0.00	22.73	5.25	0.00	0.00	0.25	0.00	0.12	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	0.02	0.00	0.00
DOLF	0.00	69.21	25.25	0.00	1.22	0.32	1.32	0.00	1.68	0.00	0.08	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.81	0.04	0.04
EKBT	14.13	70.22	3.47	0.00	7.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.73	3.83	0.41	0.00	0.00	0.05	0.00	0.13
GBG	3.70	17.00	29.82	0.00	13.23	0.00	35.17	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.04	0.00	0.00
GLT	0.00	0.00	64.69	0.00	14.14	0.00	16.48	3.13	0.51	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.01	0.00	0.03
GOLM	32.64	46.84	17.68	0.00	0.38	0.00	0.00	0.00	1.88	0.03	0.00	0.00	0.04	0.00	0.21	0.01	0.26	0.01	0.02
GOSH	33.90	62.31	0.87	0.00	1.58	0.08	0.00	0.00	0.02	0.00	0.04	0.00	0.00	0.16	0.14	0.04	0.87	0.00	0.00
KHAL	34.38	27.97	32.91	0.00	4.00	0.02	0.00	0.00	0.03	0.34	0.00	0.00	0.00	0.25	0.01	0.00	0.05	0.00	0.04
KHOR	8.59	71.03	14.22	0.00	1.49	2.62	0.00	0.00	0.04	0.00	0.01	0.61	0.01	0.00	0.06	0.00	1.31	0.00	0.00
MARG	0.00	50.41	37.15	0.16	3.21	4.66	0.00	0.00	1.11	0.00	0.27	0.00	0.00	0.13	0.12	0.00	1.67	0.00	1.11
NARI	58.50	30.58	8.38	0.00	1.96	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.01	0.00	0.41	0.00	0.15
PIRB	0.00	95.38	0.00	0.03	0.35	0.68	1.58	0.00	0.00	0.00	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.92	0.00	0.01
PIRG	1.08	90.11	0.52	0.00	3.06	3.76	0.67	0.00	0.00	0.00	0.11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.67	0.00	0.01
SAGZ	13.28	4.94	66.19	0.00	5.26	8.41	0.00	0.00	0.25	0.00	0.20	0.00	0.00	0.00	0.27	0.05	0.92	0.05	0.18

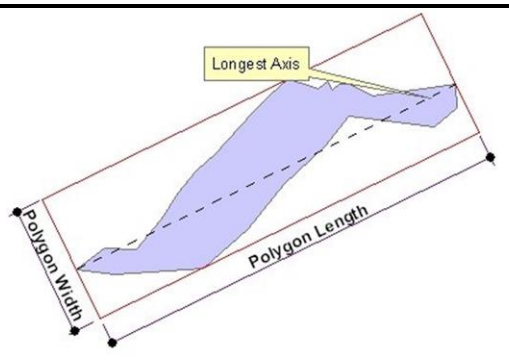
Q=quartz, A=Alkali feldspar, P=Plagioclase, F=Feldspatoid, bi=biotite, am=Amphibole, Px=Pyroxene, Ol=Olivine, cl=chlorite, ep=Epidote, ap=Apatite, tor=Tourmaline, mos=Muscovite, sr=Seresite, sp=sphene, zr=Zircon, op=Opaque, ca=calcite, pro=Porosity

۴. بحث و بررسی

در جدول ۴ برخی از اصلی‌ترین پارامترهای هندسی بافتی اندازه‌گیری شده سنگهای مورد مطالعه بر اساس آنالیز تصویری مقاطع میکروسکوپی آورده شده است. علاوه بر این پارامترهای دیگری با استفاده از عملگرهای اصلی جبری از پارامترهای فوق تعریف و محاسبه گردید. بدلیل کثرت داده‌ها و پارامترها از پلات دو سری داده (X و Y) اجتناب و همبستگی خطی بین پارامترهای هندسی تعریف شده با ویژگی‌های مقاومتی اصلی (مقاومت فشاری تک محوری و مقاومت کششی برزیلی) سنگ‌های مورد آزمون صرفاً با استفاده ضریب همبستگی گشتاوری پیرسون (۱۹۱۱) (رابطه ۱) تعیین گردید:

$$r = \frac{\sum (x - \bar{x})(y - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x - \bar{x})^2 \sum (y - \bar{y})^2}} \quad (1)$$

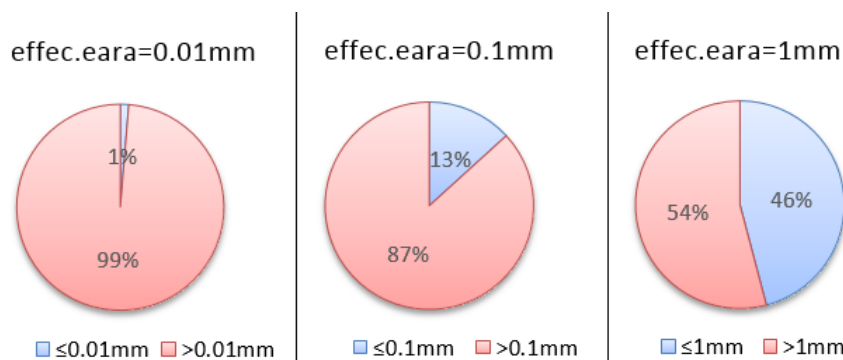
جدول ۴) برخی از اصلی‌ترین پارامترهای هندسی بافتی اندازه‌گیری شده در سنگهای مورد مطالعه بکمک آنالیز تصویری میکروسکوپی

علامت	پارامتر	توضیح و فرمول
A	مساحت	
P	محیط	
D_{max}	طول	
D_{min}	عرض	
T	تراکم یا پرکنندگی یا مستطیل‌گونی	
\bar{A}	اندازه (مساحت) متوسط	مساحت متوسط هر کانی در مقطع مورد مطالعه $\bar{A} = \frac{\sum A_i}{n}$
$C=SF$	دایروی گونی یا فاکتور شکل	برای دایره ۱ است برای اشکال غیر هم بعد و باریک کمتر از یک است $C = SF = \frac{4\pi A}{P^2}$
Eln	طولیل شدگی یا نسبت ابعادی	نسبت قطر بزرگ به قطر کوچک $Eln = \frac{D_{max}}{D_{min}}$
G	شاخص درهم قفل شدگی	به نقل از پریکل ۲۰۰۶ ارائه توسط (Dreye 1973) $g = \frac{1}{n} \sum \frac{P}{\sqrt{A}}$
$E.D$	قطر معادل	$E.D = \sqrt{\frac{4A}{\pi}}$
Comp	درجه تراکم	به نقل از پریکل ۲۰۰۶ ارائه توسط (Dreye 1973) $Comp = \frac{P^2}{A}$
t	شاخص یکنواختی اندازه	به نقل از پریکل ۲۰۰۶ ارائه توسط (Dreye 1973) $t = \frac{A_{ave}}{\sqrt{\sum (A_i - A_{ave})^2}}$

بررسی بین درصد کانی‌های تشکیل‌دهنده (داده‌های جدول ۳) هیچ رابطه آشکاری را بین نسبت کانی‌شناسی با ویژگی‌های مقاومتی سنگهای مورد مطالعه نشان نمی‌دهد. بدلیل تنوع وسیع بافتی کانی‌شناسی در گرانتیت‌های مورد بررسی و متعاقباً دامنه بسیار وسیع مساحت کانی‌های تشکیل‌دهنده (بین ۰/۰۰۰۰۸ تا ۷۴/۸۵ میلی‌متر مربع) و نسبت ابعادی هزار برابری بین قطر بزرگترین و کوچکترین کانی در مجموعه سنگهای مورد مطالعه برقراری همبستگی بالا دور از انتظار است. بررسی‌ها نشان داد ویژگی‌های مقاومتی مجموعه سنگهای مورد مطالعه همبستگی قابل توجهی بین پارامترهای اولیه هندسی (مساحت و قطر) و ابعاد (طول و عرض) برقرار نمی‌کنند. بنابراین تلاش‌ها روی پارامترهای فرعی یا ترکیبی تعریف شده متمرکز گردید. نتیجه کار وجود همبستگی نسبتاً بالا بین نسبت اندازه میانگین کوارتز بر اندازه میانگین پلاژیوکلاز (\bar{A}_O / \bar{A}_P) با مقاومت فشاری تک محوری ($R^2=0.66$) و مقاومت کششی برزیلی ($R^2=0.61$) هویدا کرد.

بمنظور ارتفاع ضرایب همبستگی مذکور سعی گردید ابعاد کانی های مورد بررسی در آزمون همبستگی فیلتره شود. این بررسی ها نشان داد که در گروه کانی های با دامنه ابعادی بزرگتر از ۰/۱۸ میلی‌متر مربع ضریب همبستگی نسبت انداز میانگین کوارتز بر پلاژیوکلاز بطور قابل توجهی افزایش و برای مقاومت فشاری تک محوری و مقاومت کششی برزیلی به ترتیب به $(R^2=0.75)$ و $(R^2=0.73)$ ارتقا می یابد. اما در گروه با دامنه ابعادی کمتر از ۰/۱ میلی متر مربع همبستگی فوق تقریباً صفر است.

بررسی توزیع تجمعی نسبت ابعاد کانی های تشکیل دهنده در گروه های کلاسه بندی شده اندازه های زیر ۰/۱ و ۱ میلی متر مربع به ترتیب ۱۳/۲ و ۴۵/۹ درصد از مساحت کانی های سنگ را بخود اختصاص می دهند. (نمودار های شکل ۴). این بیانگر این موضوع است که قطر کانی شناسی ۱ میلی متر یک اندازه موثر در ساختار کانی شناسی سنگهای آذرین متبلور می باشد.



شکل ۴: توزیع تجمعی درصد مساحت در سه گروه اندازه تعریف شده برای سنگهای مورد مطالعه، نمودار سمت راست نشان می دهد که توزیع اندازه کانی ها در دو سوی اندازه ۱ میلیمتر تقریباً متقارن و یکسان است (نتایج بر پایه تلفیق داده های کانی شناسی بیش از ۱۷ هزار کانی بدست آمده است.)

نتایج حاصل از مرتب نمودن داده ها و تشکیل سری داده های مساحتی بشکل تجمعی صعودی، نسبت به دسته بندی گروهی کانی های تشکیل دهنده در گروههایی که ۱۰٪، ۲۰٪، ۳۰٪، ۶۰٪ و بیشتر سطح کانی شناسی را اشغال می کنند نشان داد همزمان با افزایش ابعاد کانی ها تا رسیدن به سطح پوشش ۲۰٪ کل سطح کانی شناسی ارتباط با ویژگی های مقاومتی نامحسوس است اما در سطح پوشش ۲۰ تا ۱۰۰ درصد ضرایب همبستگی متوسطی برقرار میشود. همچنین معلوم گردید ابعاد کانی شناسی کانی ها با افزایش ابعاد تا رسیدن به سطح پوشش ۲۰ تا ۳۰ درصد به ندرت به یک میلی متر مربع می رسد.

۵. نتیجه گیری

اندازه گیری های هندسی و کمیته سازی ویژگی های بافتی سنگهای آذرین بلورین که در اصطلاح مهندسی عمران گرانت نامیده می شوند ولی از دیدگاه زمین شناسی و پترولوژی رنجی از گرانت و سینیت تا دیوریت و گابرو هستند نشان داد که ویژگی های مقاومتی (مقاومت فشاری تک محوری و مقاومت کششی برزیلی) این سنگها با نسبت کانی های تشکیل دهنده ارتباط مستقیمی ندارند. از سوی دیگر بررسی ابعاد کانی های تشکیل دهنده نشان داد که ابعاد کانی های خاص مثل کوارتز یا مجموع آنها مثل مجموع کوارتز و فلدسپار ارتباط قوی با مقاومت برقرار نمی کنند. این امر در مورد تمام ویژگی های هندسی همچون مساحت، محیط، قطر معادل، دایروی گونی، طولیل شدگی و غیر صادق است. اما بررسی نسبت انداز میانگین کانی ها نشان داد که نسبت انداز میانگین کوارتز بر اندازه میانگین پلاژیوکلاز تنها ویژگی هندسی است که بدون توجه به نوع و تیپ سنگ آذرین بلورین مورد بررسی با ویژگی های مقاومتی ارتباط برقرار می کند. این ارتباط بویژه وقتی دامنه کانی شناسی فیلتره با ابعاد بیش از ۰/۱۸ میلیمتر مربع بررسی می گردد بطور محسوسی بالا می رود. هر چند درجه این همبستگی چندان قوی نیست $(R^2=0.75)$ اما بدلیل تنوع نوع و اندازه کانی شناسی سنگهای آذرین بلورین قابل توجه است. از طرفی بررسی آماری ابعاد کانی شناسی سنگهای مورد آزمون نشان داد با توجه به توزیع حدود ۴۵/۹ درصد کانی های تشکیل دهنده در دامنه ابعادی زیر قطر یک میلی متر مربع احتمالاً قطر ۱ میلیمتر یک قطر شاخص در ساختار کانی شناسی سنگهای آذرین متبلور و گرانت ها باشد. بنابراین تمرکز و هدایت بررسی های کانی شناسی در پیرامون قطر ۱ میلیمتر احتمالاً نتایج مثبتی در ارزیابی ارتباط بین خصوصیات مهندسی با ویژگیهای پتروگرافی این سنگها خواهد داشت.



۶. منابع

- ASTM D2938-95. (2002). “Standard test method for unconfined compressive strength of intact rock core specimens under varying states of stress and temperatures for testing materials”. American Society for Testing Materials.
- Brattli, B. (1992). “The influence of geological factors on the mechanical properties of basic igneous rocks used as road surface aggregates”. *Engineering Geology*, 33 (1992) 31-44.
- D'Andrea, D.V. Fischer, R.L. Fogelson, D.E. (1965). “Prediction of compressive strength from other rock properties”. US Bureau of Mines Rep. Investigation, No. 6702.
- Gunsallus. K. L. and Kulhaw, F. H. (1984). “A comparative evaluation of rock strength measures”. *Int. J. Rock. Mech. Min. Sci.* 21, 5, 233-248, 1984.
- ISRM Suggested Methods. (1981). “Determining uniaxial compressive strength and deformability of rock materials”. In: Brown E.T., *ISRM Suggested Methods*. Pergamon, Oxford.
- Kahn, J.S. (1956). “The analysis and distribution of the properties of packing in sand size sediments”. *Journal of Geology* 64, 385–395.
- Merriam, R. Rieke, H. H. Kim, Y. C. (1970). “Tensile strength related to mineralogy and texture of some granitic rocks”. *Engineering Geology*, 4 (1970) 155-160.
- Onodera, T.F. and Kumara, H.M. (1980). “Relation between texture and mechanical properties of crystalline rocks”. *Bull. Int. Assoc. Eng. Geol.*, 22, 173–177.
- Pomonis, P. Rigopoulos, I. Tsikouras, B. Hatzipanagiotou, K. (2007). “Relationships between petrographic and physico-mechanical properties of basic igneous rocks from the PINDOS ophiolitic complex, NW GREECE”. *Bulletin of the Geological Society of Greece*, 40, 947-958-Proceedings in 11th Int. Conf. Geol. Soc. Greece, Athens, May 2007, 947-958.
- Prikryl, R. (2006). “Assessment of rock geomechanical quality by quantitative rock fabric coefficients: Limitations and possible source of misinterpretations”. *Engineering Geology*, 87 (2006) 149-162.
- Shakoor, A. and Bonelli, R.E. (1991). “Relationship between petrographic characteristics, engineering index properties, and mechanical properties of selected sandstones”. *Bull. Int. Assoc. Eng. Geol.*, 28 (1), 55±71.
- Tugrul, A. and Zarif, I. H. (1998). “The influence of mineralogical textural and chemical characteristics on the durability of selected sandstones in Istanbul, Turkey”. *Bull Eng Geol Env*, 57, 185±190.
- Zorlu, K. Ulusay, R. Ocakoglu, F. Gökçeoglu, C. and Sönmez, H. (2004). “Predicting intact rock properties of the selected sandstones using petrographic”. *Int. J. Rock. Mech. Min. Sci.* 41, 93–98.