بررسی رابطه خصوصیات فیزیکی و مکانیکی با ویژگی‌های سنگ‌شناسی در سنگ‌های گرانیتوئیدی

محمدحسین قبادی*[۱]، لیلا احمدی[۲]، میرمحمد میری[۳] و سیده‌راضیه جعفری[۴]

۱، ۲ و ۳- گروه زمین‌شناسی، دانشگاه بوعلی‌سینا، همدان
۴- گروه زمین‌شناسی، دانشگاه پیام‌نور، ایران

نویسنده مسئول: amirghobadi@yahoo.com *

دریافت: ۹۶/۵/۲۲ پذیرش: ۹۷/۳/۲۸

چکیده

در این پژوهش رابطه بین خصوصیات فیزیکی و مکانیکی با ویژگی‌های سنگ‌شناسی در سنگ‌های گرانیتوئیدی در سه نوع بافت مختلف بررسی گردیده است. بر اساس بررسی‌های صحرایی گرانیت‌هایی با بافت‌های درشت‌دانه، متوسط‌دانه و ریزدانه به ترتیب از سه منطقه گلپایگان (حسن رباط)، الیگودرز (معدن پیرتاک) و بروجرد (توانداشت) انتخاب و نمونه‌برداری شده است. با مطالعات آزمایشگاهی بر روی این نمونه‌ها ترکیب کانی‌شناسی و سنگ‌شناسی تعیین گردیده است. با توجه به آزمون‌های استاندارد بعضی از خصوصیات فیزیکی مانند تخلخل، چگالی سنگ و بعضی از خصوصیات مکانیکی مانند مقاومت بار نقطه‌ای و مقاومت فشاری تک‌محوری نمونه‌ها محاسبه شده است. سپس روابط بین خصوصیات فیزیکی و مکانیکی با ویژگی‌های سنگ‌شناسی مورد بررسی قرار گرفته است. بررسی‌ها نشان داد که در سنگ‌های گرانیتوئیدی مورد مطالعه اثر نوع بافت بر روی خصوصیات فیزیکی و مکانیکی سنگ بیش‌تر از ترکیب کانی‌شناسی است. هم‌چنین یافته‌ها موید این است که بررسی ویژگی‌های سنگ‌شناسی به عنوان یک شاخص اولیه می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: خصوصیات فیزیکی، خصوصیات مکانیکی، مرز کانی‌ها، تخلخل

مقدمه

عوامل مختلفی بر رفتار مکانیکی سنگ‌ها موثرند. این عوامل به دو گروه خارجی و داخلی تقسیم می‌شوند. عوامل خارجی پدیده‌ها و فرآیندهای حاضر در اطراف سنگ می‌باشند و عوامل داخلی خواص و ویژگی‌های خود سنگ هستند. از عوامل داخلی می‌توان به ترکیب کانی‌شناسی و بافت، صفحات ضعف و شکستگی‌های داخل سنگ، درجه آلتراسیون کانی‌ها، اندازه و شکل دانه، دانسیته سنگ، درجه قفل‌شدگی و نوع تماس بین دانه‌ها اشاره کرد (عبدالحمید و همکاران، ۲۰۱۵ و اروسی و والر، ۱۹۹۵).

به طور کلی می‌توان گفت ترکیب کانی‌شناسی، بافت، بافته و میزان هوازدگی، خصوصیات زمین‌شناسی مهندسی سنگ‌ها را کنترل می‌کنند (تورگال و گومز، ۲۰۰۶). در سنگ‌های آذرین نوع کانی‌ها و درصد آن‌ها تأثیر زیادی بر دوام و مقاومت سنگ دارد (حسین و پوله، ۲۰۱۰). عموما سنگ‌های آذرین دارای میزان کوارتز بیش‌تر مقاومت فشاری زیادتری دارند. کانی‌های دارای آهن و منیزیم مانند اولیوین، به دلیل اینکه سریع‌تر اکسیده می‌شوند باعث افت مقاومت سنگ می‌گردند. دوام و مقاومت سنگ با افزایش دگرسانی و افزایش کانی‌های ثانویه به شدت کاهش می‌یابد (امانیان و همکاران ۱۳۸۴). سنگ‌های آذرین فاقد هوازدگی به خاطر ترکیب کانی‌شناسی و بافت خود، مقاومت و مدول‌الاستیسیته بالایی دارند (آکسونا و همکاران، ۲۰۰۴).

اندازه کانی‌های سازنده سنگ نیز به عنوان یک عامل زمین‌شناسی مهم تأثیر زیادی بر مقاومت مکانیکی سنگ دارند (آکسونا و همکاران، ۲۰۰۴؛ کیخواه، ۲۰۱۳؛ اریف و همکاران، ۲۰۱۳؛ اصغری و همکاران، ۱۳۹۶ و یوسفا و زبیدا، ۲۰۱۶). مقاومت تسلیم سنگ‌ها با کاهش اندازه دانه‌ها افزایش می‌یابد و به طور کلی کوچک بودن اندازه دانه باعث زیاد شدن مقاومت سنگ می‌شود و وقتی میانگین اندازه دانه‌ها کمتر از ۱ میلی‌متر باشد، این تأثیر بیش‌تر خواهد بود (امانیان و همکاران، ۱۳۸۴). اما اگر اندازه دانه کمتر از ۰/۰۲۵ mm باشد، اندازه دانه‌ها تأثیر بسیار کمی در سایش و دوام دارند (اروسی و والر،

۱۹۹۵). البته مطالعات نشان می‌دهد که برخی کانی‌ها با وجود مقاومت بالا، اگر به شکل درشت دانه در سنگ وجود داشته باشند، می‌توانند تاثیر منفی بر مقاومت سنگ داشته باشند (ساجید و همکاران، ۲۰۱۶).

هنگامی که اندازه کانی‌ها کاهش می‌یابد سطح تماس کانی‌ها افزایش می‌یابد و نیروهای خارجی وارده بر سنگ بر روی سطوح بیش‌تری توزیع می‌گردد، در نتیجه نیروی بیش‌تری برای گسستن پیوند بین دانه‌ها لازم است.

از دیگر ویژگی‌های مهم بافتی که در رفتار مکانیکی و مقاومت سنگ نقش دارند، درجه درهم قفل‌شدگی دانه‌ها، شکل مرزهای تماس بین دانه‌ها و آرایش هندسی (میکروفابریک) اجزاء سنگ است (مالو و سانی،۲۰۱۲؛ حسین و پوله، ۲۰۱۰). چون شکستگی‌ها بیش‌تر در طول مرزهای دانه‌ها رخ می‌دهند و کمتر از میان دانه‌ها می‌گذرند. مرزهای نامنظم و درهم، ایجاد شکستگی را مشکل‌تر می‌سازند چرا که صفحه گسیختگی محتمل که تمایل به گذر از مرز بین دانه‌ها را دارد باید دائما تغییر جهت دهد و به همین دلیل فرآیند شکستگی به کندی در مسیر خود پیش می‌رود و به همین دلیل نیز افزایش تعداد مرزها باعث افزایش مقاومت سنگ می‌شود.

تاثیر شکل دانه‌ها نیز برروی مقاومت سنگ چشمگیر است. دانه‌های زاویه‌دار باعث ایجاد قفل شدگی بیش‌تر و افزایش مقاومت می‌گردند. ریز ترک‌ها، مرزهای بین دانه‌ها و رخ‌های موجود در کانی‌ها روی مقاومت نهایی سنگ موثر هستند و می‌توانند به عنوان سطوح ضعف، جهات گسیختگی را در سنگ کنترل کنند (قبادی و علیجانی، ۱۳۸۸).

سنگ‌ها دارای ریزشکستگی‌ها، مرزهای بین دانه‌ای، کلیواژ، صفحات ماکل و انکلوزیون‌ها می‌باشند. این نقاط ضعف مقاومت نهایی سنگ‌ها را تحت تأثیر قرار می‌دهند و به عنوان سطوحی عمل می‌کنند که شکستگی‌ها اغلب در طول آن‌ها رخ می‌دهند. تناوب و تکرار ناپیوستگی‌ها با مقاومت شکست رابطه معکوس دارد، زیرا این شکستگی‌ها باعث تسهیل ورود آب و سیالات به درون سنگ و پیشرفت هوازدگی می‌شوند (امانیان و همکاران، ۱۳۸۴).

در این پژوهش نمونه‌های گرانیتوئیدی با بافت‌های متفاوت مورد بررسی قرار گرفته است. بر روی نمونه‌ها مطالعه سنگ‌شناسی صورت گرفته و آزمایش‌های چگالی خشک و اشباع، تخلخل، شاخص بار نقطه‌ای برای تعیین مقاومت تک‌محوری انجام شده است. در نهایت تاثیر بافت بر خصوصیات فیزیکی و مکانیکی آن‌ها بررسی گردیده است.

مطالعات صحرایی و نمونه‌برداری

در ایران رخنمون سنگ‌های آذرین به ویژه گرانیتوئیدی در محدوده زون سنندج - سیرجان و ارومیه - دختر و شرق بلوک لوت بیش‌تر دیده می‌شوند. زون سنندج – سیرجان غنی از از انواع گرانیتوئیدهاست. این زون در جنوب و جنوب باختری ایران مرکزی و شمال خاوری زون زاگرس قرار گرفته است. در شمال و شمال باختری، توسط فروافتادگی‌هایی مانند دریاچه ارومیه، توزلوگل، گاوخونی و گسل‌هایی مانند گسل شهر بابک و گسل آباده از ایران مرکزی و در جنوب باختری توسط راندگی اصلی زاگرس، از زاگرس جدا می‌شود. از ویژگی‌های شاخص این زون وجود حجم‌های سترگ سنگ‌های ماگمایی و دگرگونی با سن پالئوزوئیک و به ویژه مزوزوئیک است (سازمان زمین‌شناسی کشور، نقشه الیگودرز،۱۳۷۱).

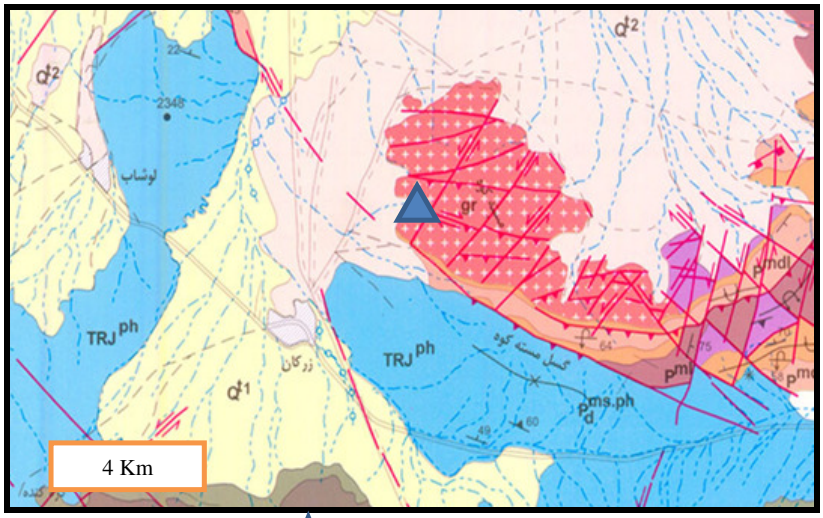
سه منطقه برای نمونه‌برداری و انجام پژوهش انتخاب گردید. این مناطق عبارتند از منطقه گلپایگان توده گرانیتی حسن‌رباط، منطقه الیگودرز توده گرانیتی شرق الیگودرز معدن پیرتاک و منطقه بروجرد توده گرانیتی توانستند. در این مطالعه ابتدا در مرحله برداشت صحرایی با دقت کامل و مطابق استاندارد BS5930 نمونه‌های غیر هوازده برداشت گردید. از هر منطقه سه بلوک سنگ برداشت گردید و سپس در آزمایشگاه مغزه‌گیری شد و از مغزه‌ها نمونه‌های لازم جهت انجام آزمایشات، طبق استانداردهای موجود تهیه گردید. در مرحله بعد با انجام مطالعات آزمایشگاهی خصوصیات سنگ‌شناسی بررسی شد.

الف) توده گرانیتی حسن رباط در منطقه گلپایگان

محل نمونه‌برداری در ۲۰ کیلومتری جنوب‌شرق گلپایگان یا در ۸۳ کیلومتری غرب میمه و در شرق روستای حسن‌رباط واقع شده است. توده گرانیتوئیدی حسن‌رباط در محدوده‌ای به وسعت ۱۶ کیلومتر مربع رخنمون دارد. این منطقه بخشی از نقشه چهارگوش گلپایگان و ورقه کوه دهق را شامل می‌شود. در این نقشه سه زیر پهنه

اصلی مشاهده می‌شود که منطقه مورد مطالعه ما در زیر پهنه شمالی یا زرکان -لای بید قرار دارد و شامل برونزدهای ستیغ‌ساز پالئوزوئیک بالا، تریاس – ژوراسیک و کرتاسه است که توسط گسل اصلی دهق – صالح کوه از زیر پهنه جنوبی جدا می‌شود (سازمان زمین‌شناسی کشور، نقشه زمین‌شناسی دهق،۱۳۸۴). نمونه‌برداری از توده حسن‌رباط از نقطه‌ای با مختصات تقریبی ۳۳/۴۴۵ درجه عرض شمالی و ۵۰/۸۳۵ درجه طول شرقی انجام گرفت. شکل‌های ۱و۲ توده گرانیتی حسن‌رباط را در کنار روستای زرکان (حسن‌رباط) نشان می‌دهد.

شکل ۱. نمایی از توده گرانیتی مسته کوه و همبری آن با لایه‌های شیل و فیلیت در مجاورت روستای حسن‌رباط



شکل ۲. نقشه زمین‌شناسی منطقه، توده گرانیتی مسته کوه، حسن‌رباط (زرکان) و ▲ محل برداشت نمونه (برگرفته از نقشه زمین‌شناسی دهق، سازمان زمین‌شناسی کشور،۱۳۸۴)

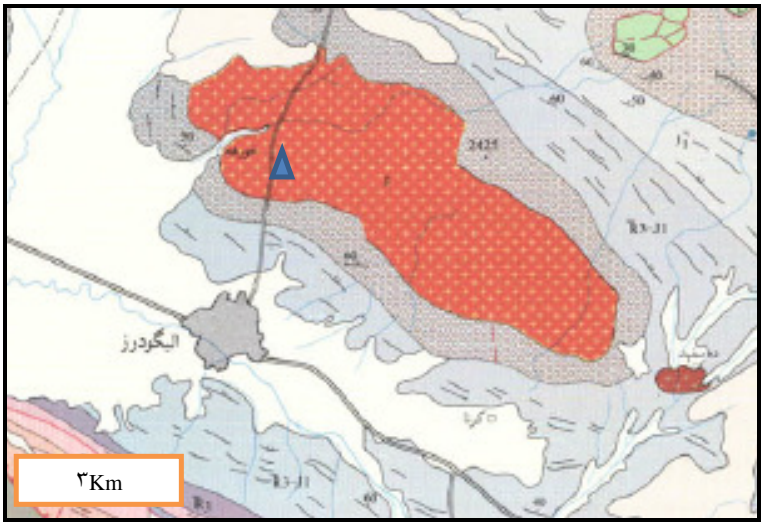
ب) توده گرانیتی الیگودرز

منطقه الیگودرز از دیدگاه زمین‌شناسی در بخش میانی پهنه سنندج - سیرجان واقع شده است. در زمان ژوراسیک و پیش از آن، تحت تأثیر فعالیت‌های زمین‌ساختی مرتبط قرار گرفته است. منطقه مورد مطالعه درکمربند فلززایی ملایر- اصفهان، در نواحی خاوری و جنوب خاوری استان لرستان جای دارد و در محدوده چهارگوش برگه ۱:۱۰۰۰۰۰ الیگودرز قرار دارد. در کرتاسه پسین سنگ‌های این منطقه همراه با نفوذ توده‌های گرانیتوییدی، تا حد رخساره شیست‌سبز و آمفیبولیت دگرشکل شده‌اند (سازمان زمین‌شناسی کشور، نقشه زمین‌شناسی الیگودرز، ۱۳۸۴).

توده‌های نفوذی منطقه الیگودرز ۴ توده بزرگ هستند که بزرگ‌ترین آن‌ها در شمال‌شرقی شهرستان الیگودرز واقع است. البته بیش‌تر سطح آن توسط خاک‌های باقی‌مانده گرانیتی پوشیده شده است. شکل و امتداد این توده‌ها تقریبا بیضی شکل بوده و راستای قطر بزرگ آن تقریبا موازی با روند اصلی زاگرس است. توده‌های نفوذی یاد شده در یک سری رسوبات تخریبی شیل و ماسه‌سنگ به سن تریاس بالا- ژوراسیک زیرین و کهن‌تر نفوذ کرده‌اند و

هاله‌ای از سنگ‌های دگرگونه را در پیرامون خود پدید آورده‌اند (سازمان زمین‌شناسی کشور، نقشه زمین‌شناسی الیگودرز، ۱۳۸۴). توده گرانیتی در ۲ کیلومتری شمال شرق شهرستان الیگودرز قرار دارد و راه دسترسی به توده مذکور از راه جاده فرعی و خاکی الیگودرز به روستای گل زرد است که کاملا از توده گرانیتی مذکور عبور می‌کند. در مسیر این جاده خاکی چند معدن نیمه فعال سنگ گرانیت وجود دارد که معدن پیرتاک در سمت غرب جاده مذکور و پس از ورود به جاده متعلق به معدن و پیمودن مسافتی حدود ۲ کیلومتر، معدن پیرتاک پدیدار می‌گردد. نمونه‌های گرانیت الیگودرز از معدن فوق به مختصات تقریبی ۳۳/۴۳۶ درجه عرض شمالی و ۴۹/۷۱۶ درجه طول شرقی برداشت شده است. شکل‌های ۳ و ۴ توده الیگودرز و محل نمونه‌برداری را نشان می‌دهند.

شکل ۳. نمایی از معدن پیر تاک در توده گرانیتتوئیدی الیگودرز



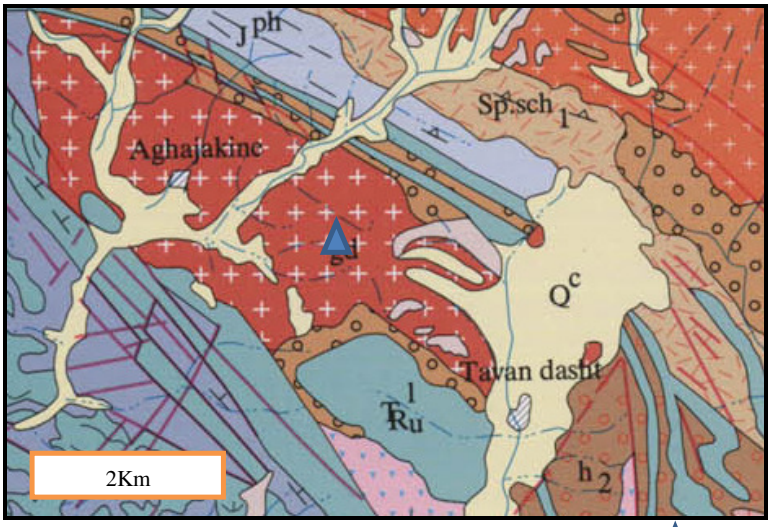
شکل ۴. نقشه زمین شناسی توده گرانیتی الیگودرز و ▲ محل نمونه‌برداری (برگرفته از نقشه زمین‌شناسی الیگودرز، سازمان زمین‌شناسی کشور، ۱۳۷۱)

ج) توده گرانیتی تواندشت در منطقه بروجرد

در منطقه بروجرد نیز توده‌های گرانیتی متعدد وابسته به زون سنندج – سیرجان وجود دارد. واحدهای سنگی تریاس پسین متشکل از ماسه‌سنگ‌های کوارتزآرنایت دانه ریز ناخالص است که در اثر دگرگونی ناخالصی آن تبدیل به سریسیت شده و با درون لایه‌هایی از رسوبات پلیتی، فیلیتی شده و نیز درون لایه‌های سنگ‌های ولکانیک دگرگونه مجموعاً واحد زیرین ردیف رسوبی تریاس پسین را تشکیل می‌دهند که بر روی آن‌ها به طور هم‌شیب واحد سنگ‌های آهکی دولومیتی و دولومیت بلورین به

رنگ نخودی و خاکستری تیره تا ستبر لایه واحد سنگ آهک خاکستری و خاکستری مایل به سفید چرت‌دار متوسط لایه دگرگونه قرار دارد (سازمان زمین‌شناسی کشور، نقشه زمین‌شناسی شازند، ۱۳۸۵). این لایه‌ها در مجاوت توده گرانیتی در محدوده وسیعی در پیمایش محلی نیز دیده می‌شوند و لایه‌های نازکی از رخساره‌های سنگ‌های دگرگونی مجاورتی آندالوزیت، کردیریت‌دار در محل برداشت نمونه نیز قابل مشاهده است. راه دسترسی از جاده شازند- خرم‌آباد و منشعب از جاده بروجرد- خرم‌آباد می‌باشد و مختصات محل نمونه‌برداری ۳۳/۷۴۴ درجه عرض شمالی و ۴۹/۰۴۳ درجه طول‌شرقی می‌باشد. شکل‌های ۵ و ۶ رخنمون‌های توده تواندشت و محل نمونه‌برداری را نشان می‌دهد. این توده در نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ شازند با نام توده آستانه در راهنمای نقشه معرفی شده است.

شکل ۵. رخنمون توده تواندشت در شمال‌غرب روستای تواندشت



شکل ۶. نقشه زمین‌شناسی و ▲ محل نمونه‌برداری از توده تواندشت در منطقه بروجرد (برگرفته از نقشه زمین‌شناسی شازند، سازمان زمین‌شناسی کشور، ۱۳۸۵)

مطالعات آزمایشگاهی

از نمونه‌ها مقاطع میکروسکپی سنگ جهت مطالعات پتروگرافی تهیه گردید. با مغزه‌گیری و تهیه نمونه‌های مناسب بر اساس استانداردهای مربوط، آزمایشات تعیین خصوصیات فیزیکی و مکانیکی انجام شد. در این بررسی نمونه تواندشت با علامت اختصاری TD و نمونه حسن‌رباط با علامت اختصاری HR و نمونه الیگودرز از معدن پیر تاک با علامت اختصاری PT معرفی شده‌اند.

الف- مطالعات سنگ‌شناسی

مقاطع میکروسکپی مورد مطالعه قرار گرفتند و ویژگی‌های پتروگرافی مقاطع میکروسکپی به شرح زیر می‌باشد.

نمونه سنگ گلپایگان، حسن‌رباط (HR)

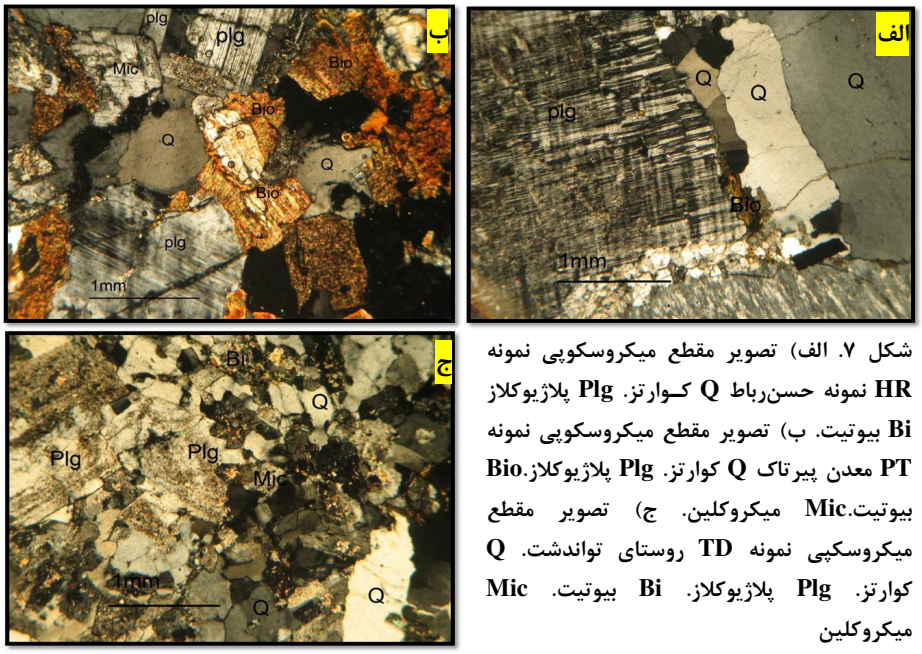
در مطالعه نمونه سنگ بافت‌های ساب‌هدرال گرانولار، پرتیتی، پوئیکلیتیکی مشاهده گردید و کانی‌های متشکله شامل کانی‌های پلاژیوکلاز ۲۲٪، کوارتز ۴۰٪، میکروکلین ۲۸٪، بیوتیت ۱۰٪ می‌باشند و در نتیجه نام سنگ مونزوگرانیت می‌باشد. در نمونه دستی سنگ درشت‌دانه می‌باشد. نکته قابل ذکر در مورد این مقاطع آن است که پلاژیوکلازها دارای بافت پوئیکلیتیک هستند و دانه‌های کوارتز و بیوتیت به صورت ادخال داخل آن‌ها قرار گرفته است. اندازه دانه‌ها بسیار درشت است. مرز رشدی کوارتزها به صورت مضرس و سایر کانی‌ها حالت تماسی دارند. تکتونیزه شدن به وضوح در مطالعه سنگ‌شناسی این مقطع قابل مشاهده است. دگرسانی موجب سریسیتی شدن پلاژیوکلازها شده اما مقدار دگرسانی زیاد نیست. سریسیتی شدن در کلیه فلدسپات‌ها با شدت متفاوت وجود دارد و دگرسانی در فلدسپات‌های سدیک بیش‌تر و در فلدسپات‌های پتاسیک کمتر دیده می‌شود (شکل ۷ الف).

نمونه الیگودرز، معدن پیرتاک (PT)

در این نمونه سنگ بافت‌های ساب‌هدرال گرانولار، زونینگ، پرتیتی مشاهده گردید و مقدار کانی‌های متشکله سنگ عبارتند از: پلاژیوکلاز ۲۵٪، کوارتز ۳۵٪، میکروکلین ۱۰ ٪، بیوتیت ۱۸٪، مسکویت ۸٪، کلریت ۴٪. در نتیجه نام سنگ گرانودیوریت است. در نمونه دستی سنگ متوسط دانه می‌باشد و از نکات قابل ذکر در بررسی سنگ آن است که پلاژیوکلازها کمتر از مقطع TD دگرسان (سوسوریته) شده‌اند و اغلب سالم هستند . اندازه دانه‌ها بسیار متغیر و از ابعاد بسیار درشت‌دانه پلاژیوکلاز (در حد پورفیر) تا دانه‌های بسیار ریز مسکویت متغیر است. مرز دانه‌ها گاه حالت مضرس و گاه حالت تماس خطی دارند. شواهدی از تکتونیزه شدن در سنگ در مواردی مشاهده می‌گردد. دگرسانی مقطع بسیار کمتر از مقطع TD است اما کانی‌هایی نظیر کلریت در این مقطع وجود دارند که ممکن است در اثر دگرسانی بوجود آمده باشند (شکل ۷ ب).

نمونه بروجرد، روستای تواندشت (TD)

بافت سنگ ساب‌هدرال گرانولار و درصد کانی‌های متشکله سنگ عبارتند از: کوارتز ۳۰٪، پلاژیوکلاز ۳۰٪، میکروکلین ۲۰٪، مسکویت ۱۰٪، بیوتیت ۱۰٪ و در نتیجه نام سنگ گرانودیوریت می‌باشد. در نمونه دستی سنگ ریزدانه می‌باشد و از نکات قابل ذکر در بررسی سنگ آن است که پلاژیوکلازها به ندرت سالم مانده‌اند و حدود ۷۰٪ درصد از سطحشان دگرسان (سوسوریته) شده است. اندازه دانه‌ها یکنواخت نبوده و از دانه‌های بسیار ریز سریسیت و مسکویت تا دانه‌های درشت پلاژیوکلاز تغییر می‌کند. مرز دانه‌ها در اغلب موارد مضرس بوده و دانه‌ها در هم قفل شده‌اند. مقطع از دگرسانی قابل‌توجهی برخوردار است (شکل ۷ ج).



شکل ۷. الف) تصویر مقطع میکروسکوپی نمونه HR نمونه حسن‌رباط Q کـوارتز. Plg پلاژیوکلاز Bi بیوتیت. ب) تصویر مقطع میکروسکوپی نمونه PT معدن پیرتاک Q کوارتز. Plg پلاژیوکلاز.Bio بیوتیت.Mic میکروکلین. ج) تصویر مقطع میکروسکپی نمونه TD روستای تواندشت. Q کوارتز. Plg پلاژیوکلاز. Bi بیوتیت. Mic میکروکلین

جدول ۱. خلاصه خصوصیات سنگ‌شناسی نمونه‌های مورد مطالعه

محل نمونه‌برداری	نام نمونه	نام سنگ	بافت	کانی‌ها
گلپایگان، حسن رباط	HR	مونزوگرانیت	ساب‌هدرال گرانولار، پرتیتی، پوئیکلیتیکی	پلاژیوکلاز ۲۲٪، کوارتز ۴۰٪، میکروکلین ۲۸٪، بیوتیت ۱۰٪
الیگودرز، معدن پیرتاک	PT	گرانودیوریت	ساب‌هدرال گرانولار، زونینگ، پرتیتی	پلاژیوکلاز ۲۵٪، کوارتز ۳۵٪، میکروکلین ۱۰ ٪، بیوتیت ۱۸٪، مسکویت ۸٪، کلریت ۴٪
بروجرد، روستای تواندشت	TD	گرانودیوریت	ساب‌هدرال گرانولار	پلاژیوکلاز ۳۰٪، کوارتز ۳۰٪، میکروکلین ۲۰٪، مسکویت ۱۰٪، بیوتیت ۱۰٪

ب- آزمایشات فیزیکی و مکانیکی

تعیین وزن مخصوص سنگ به روش اشباع و غوطه‌وری، تعیین درصد تخلخل سنگ، تعیین شاخص بار نقطه‌ای بر اساس استاندارد ISRM انجام گرفته است (فهیمی‌فر و سروش،۱۳۸۰). برای هر محل حداقل ۱۰ نمونه تحت آزمون قرار گرفته است و برای تعیین شاخص بار نقطه‌ای حداقل ۲۵ نمونه آزمایش شده است. مقاومت تک‌محوری سنگ بر اساس شاخص بار نقطه‌ای و بر اساس رابطه زیر محاسبه گردیده است و نتایج آن در جدول ۲ ارائه شده است.

$$UCS = 24 \cdot I_{s(50)}$$

جدول ۲. نتایج آزمایشات تعیین خصوصیات فیزیکی و مکانیکی نمونه‌های مورد مطالعه

پارامتر		محل نمونه‌برداری		
		حسن‌رباط	پیرتاک	تواندشت
تخلخل(٪)	بیشینه	۲/۸	۳/۹۷	۲/۱۳
	کمینه	۱/۲	۱	۱/۵
	انحراف معیار	۰/۵۴	۰/۹۵	۰/۱۷
	میانگین	۲/۱۳	۲/۳	۱/۸۳
چگالی اشباع (گرم / سانتی‌متر مکعب)	بیشینه	۲/۶۷	۲/۷۱	۲/۶۲
	کمینه	۲/۵۱	۲/۴۸	۲/۴۹
	انحراف معیار	۰/۰۵۴	۰/۰۷۰	۰/۰۳۳
	میانگین	۲/۵۸	۲/۵۸	۲/۵۶
چگالی خشک (گرم / سانتی متر مکعب)	بیشینه	۲/۶۴	۲/۶۹	۲/۶۰
	کمینه	۲/۴۹	۲/۴۶	۲/۴۷
	انحراف معیار	۰/۰۵۳	۰/۰۷۴	۰/۰۳۳
	میانگین	۲/۵۶	۲/۵۶	۲/۵۴
شاخص بار نقطه‌ای (مگاپاسکال)	بیشینه	۳/۸۸	۶/۷۸	۸/۲۷
	کمینه	۱/۳۶	۳/۹۶	۴/۳۶
	انحراف معیار	۰/۹۲	۰/۸۷	۱/۲۰
	میانگین	۲/۸۴	۵/۷۲	۶/۲۷
مقاومت فشاری تک محوری (مگاپاسکال)	بیشینه	۹۳/۰۴	۱۶۲/۸۱	۱۹۸/۵۰
	کمینه	۳۲/۷۰	۹۵/۱۵	۱۰۴/۶۶
	انحراف معیار	۲۲/۲۹	۲۰/۹۸	۲۸/۸۳
	میانگین	۶۸	۱۳۷	۱۵۰

بحث

با توجه به ویژگی‌های فیزیکی نمونه‌ها، علیرغم مشابهت چگالی خشک و اشباع، تخلخل‌ها تفاوت قابل‌ملاحظه‌ای دارند. این تفاوت در میزان تخلخل به دو دلیل می‌باشد: دلیل اول نوع مرز کانی‌هاست. مرز مضرس در هم قفل شدگی و تماس کانی‌ها را افزایش داده و تخلخل بین کانی‌ها را کاهش می‌دهد. پس هر چه میزان مضرس بودن مرز کانی‌ها کمتر باشد، تخلخل بیش‌تری به وجود می‌آید. در نمونه TD دانه‌ها اغلب مرز مضرس دارند در حالی که در نمونه PT دانه‌ها گاه مرز مضرس و گاه مرز

تماسی و در نمونه HR فقط کوارتزها مرز مضرس دارند که کوارتزها تقریبا ۴۰ درصد کانی‌های متشکله سنگ را تشکیل می‌دهند.

دلیل دوم وجود کانی‌هایی مانند بیوتیت و مسکویت در سنگ است. ساختار این نوع کانی‌ها ورقه‌ای بوده و فضای بین ورقه‌ها خود می‌تواند، باعث افزایش تخلخل در سنگ گردد. مجموع دو عامل فوق باعث ایجاد بیش‌ترین تخلخل در نمونه PT و کمترین تخلخل در نمونه TD شده است.

در ارزیابی ویژگی‌های مکانیکی، میزان مقاومت بار نقطه‌ای خشک بین نمونه‌ها متفاوت است. این تمایز به سه دلیل می‌باشد: دلیل اول مرز بین کانی‌های متشکله سنگ است. در این مورد نیز مرز بین کانی‌ها، عامل قفل شدگی و تماس بیش‌تر کانی‌ها و در نتیجه موجب افزایش مقاومت بیش‌تر سنگ است. سنگی که مرزهای مضرس بیش‌تری در آن مشاهده می‌شود یعنی نمونه TD بیش‌ترین مقاومت را دارد و سنگی که کمترین مرز مضرس را دارد، نمونه HR است که مرز مضرس فقط در کانی‌های کوارتز موجود در آن قابل مشاهده است. در این نمونه کمترین مقاومت بار نقطه‌ای خشک مشاهده می‌شود.

دلیل دوم تکتونیزه شدن نمونه‌هاست. در مشاهدات صحرایی در منطقه نمونه‌برداری از نمونه HR فعالیت تکتونیکی با وجود درزه و شکاف‌ها در توده حسن‌رباط قابل مشاهده بود و در بررسی سنگ‌شناسی نیز نمونه HR به مقدار زیادی شواهد تکتونیزه شدن را نشان می‌دهد. در گزارش مطالعات سنگ‌شناسی به ریزترک‌ها و خاموشی موجی در کانی‌های کوارتز، به عنوان شواهد تکتونیزه شدن اشاره شده است. نمونه PT شواهد تکتونیزه شدن در مطالعات میکروسکپی به مقدارکمی مشخص می‌گردد در حالی‌که در مطالعات صحرایی تاثیر فعالیت‌های تکتونیکی در منطقه به صورت درزه‌ها در معدن پیرتاک و توده الیگودرز مشاهده نگردید. در منطقه برداشت نمونه در توانداشت نیز شواهدی دال بر تکتونیک فعال به شکل درزه و شکاف مشاهده نگردید. علاوه بر این که مطالعات میکروسکپی نیز نشانه‌ای از تاثیر تکتونیک گزارش نگردید. اما لازم به ذکر است در مطالعات صحرایی در توانداشت درزه‌های متعدد که بیش‌تر نشانگر تنش ناشی از سرد شدن توده بود، در نواحی سطحی مشاهده گردید. به طور کل تکتونیزه شدن باعث ایجاد ترک‌های میکروسکوپی در سنگ می‌گردد که می‌تواند عامل تسهیل کننده گسیختگی سنگ گردد.

دلیل سوم اندازه دانه‌ها و درصد کانی‌های تشکیل‌دهنده سنگ است. نمونه حسن‌رباط HR درشت دانه است، ولی نمونه الیگودرز PT در گروه سنگ‌های متوسط دانه قرار دارد. در حالی که نمونه توانداشت TD در گروه سنگ‌های ریزدانه قرار دارد. بنابراین درشت دانه بودن بافت نمونه نیز به عنوان عامل کاهنده در مقاومت سنگ محسوب می‌گردد. البته باید متذکر گردید که درشت بودن برخی کانی‌ها تاثیر شدیدتری بر کاهش مقاومت سنگ دارد و از جمله این کانی‌ها کوارتز می‌باشد مطالعات ساجید و همکاران (۲۰۱۶) نشان می‌دهد که متوسط اندازه ذرات کوارتز با مقاومت سنگ رابطه عکس دارد (ساجید و همکاران، ۲۰۱۶). این در حالی است که مطالعات مختلف با تکیه بر مقدار کانی کوارتز (مقدار مودال کوارتز)، صرفا حضور این کانی را عامل موثر بر افزایش مقاومت سنگ می‌دانند در حالی که با بررسی مذکور که با نتایج پژوهش حاضر نیز همخوانی دارد، تاثیر ویژگی‌های بافتی بر خصوصیات مکانیکی در گرانیت‌ها به مراتب موثرتر از خصوصیات فیزیکی است. این پژوهش نیز نشان می‌دهد که در نمونه توانداشت که ذرات کوارتز ریز هستند نسبت به نمونه حسن‌رباط که اندازه ذرات کوارتز بسیار درشت هستند، شاخص بار نقطه‌ای بیش‌تری مشاهده می‌گردد و نمونه پیر تاک در حالت بینابینی دو نمونه حسن‌رباط و توانداشت می‌باشد به لحاظ مقاومت نیز مقدار متوسط را نشان می‌دهد. بنابراین و با توجه به دلایل ذکر شده نمونه حسن‌رباط (HR) منطقه گلپایگان با داشتن بافت درشت دانه و ذرات درشت کوارتز، با بیش‌ترین شواهد تکتونیزه شدن و کمترین مرز مضرس در بین کانی‌های تشکیل دهنده کمترین مقاومت را دارد. این در حالی است که این نمونه دارای بیش‌ترین درصد کوارتز می‌باشد. دلایل مقاومت کم نمونه حسن‌رباط به این نحو تشریح می‌گردد که نمونه‌های حسن‌رباط (HR) به هنگام برداشت صحرایی نمونه‌های کاملا تازه بودند و هیچ نشانه‌ای از هوازدگی در آن‌ها، حتی در هنگام مغزه‌گیری و تهیه نمونه‌های دیسکی جهت آزمایش تعیین بار نقطه‌ای مشاهده نگردید. در مطالعات میکروسکپی این نمونه سنگ، سریسیتی شدن که نشانه آلتراسیون است به

مقدار کمی ملاحظه شد. با توجه به موارد فوق مقاومت کم نمونه گرانیت حسن‌رباط ناشی تاثیر همسو و در عین حال منفی چند عامل است که در کنار هم به کاهش چشمگیر مقاومت در این سنگ منجر شده است.

در مرحله اول با توجه به مطالعات صحرایی وجود درزه‌های متعدد در توده سنگ حسن‌رباط موید تاثیر فعالیت‌های تکتونیکی شدید در منطقه است. لازم به ذکر است با بررسی نقشه زمین‌شناسی توده حسن‌رباط (نقشه چهار گوش کوه دهق) ملاحظه می‌گردد که حداقل ۹ گسل امتداد لغز با راستای شمال‌شرق – جنوب‌غرب و ۸ گسل تراستی (فشاری) با راستای شرقی – غربی این توده را قطع کرده و تحت تاثیر قرار داده‌اند. این مقدار فشار تکتونیکی بر توده مذکور به شکل ایجاد ریزترک‌ها در سنگ و کانی‌های متشکله آن بالتبع کاهش چشمگیر مقاومت سنگ نمود یافته است.

در مرحله دوم درشت بودن کانی‌های متشکله سنگ قرار می‌باشد که به طور کلی بر کاهش مقاومت سنگ موثر است. البته رابطه معکوس بین مقاومت سنگ و مقدار کوارتز موجود در سنگ با نتایج مطالعات ساجید (۲۰۱۶) بر روی نمونه‌های گرانیتی از شمال‌غرب پاکستان (کوه‌های هیمالیا) مطابقت و همخوانی دارد (ساجید و همکاران، ۲۰۱۶). بنابراین کم بودن مقاومت نمونه حسن رباط با توجه به مقدار کوارتز موجود در آن، بر اساس مطالعات و پژوهش‌های دیگری نیز قابل تایید است.

در مرحله سوم نوع مرز کانی‌ها با یکدیگر است که در این پژوهش بر آن تاکید شد و افزایش طول مرزهای صاف بر کاهش مقاومت موثر بوده و باعث کاهش مقاومت می‌گردد. نمونه منطقه پیرتاک (PT) الیگودرز که کانی‌های بیش‌تری در آن مرز مضرس دارند و تکتونیک بسیار کمتری را تحمل کرده است، با داشتن بافت دانه متوسط و مقدار (مودال) کوارتز کمتر، مقاومت بیش‌تری نسبت به نمونه حسن‌رباط (HR) دارد. نمونه تواندشت (TD) منطقه بروجرد که ریزدانه بوده و در پیمایش صحرایی و در مطالعات سنگ‌شناسی شواهد تکتونیزه شدن را نشان نمی‌دهد و در اغلب کانی‌های آن مرز مضرس دیده می‌شود، بیش‌ترین مقاومت را دارد.

بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که بافت و به ویژه اندازه ذرات و نوع مرزهای بین کانی‌ها در یک سنگ گرانیتوئیدی نقش کلیدی در پیش‌بینی خصوصیات فیزیکی و مکانیکی سنگ به عهده دارد و نقش آن نسبت به ترکیب کانی‌شناسی از اهمیت بیش‌تری برخوردار است.

نتیجه‌گیری

نوع تماس بین کانی‌ها روی خصوصیات مکانیکی سنگ بسیار موثر است. مرز مضرس در کانی‌ها موید قفل‌شدگی بیش‌تر کانی‌ها و در نتیجه تخلخل کمتر و مقاومت بالاتر سنگ می‌باشد.

ابعاد دانه‌ها عامل مهمی در مقاومت سنگ‌های آذرین است. در نمونه‌های فاقد هوازدگی سنگ‌های ریزدانه مقاومت بیش‌تر و سنگ‌های درشت دانه مقاومت کمتری دارند و از میان کانی‌های متشکله سنگ، درشت بودن ابعاد کانی‌های کوارتز تاثیر بسیار بیش‌تری بر کاهش مقاومت سنگ دارند.

مقدار کانی‌هایی مانند کانی‌های ورقه‌ای در ایجاد تخلخل تعیین کننده هستند. در این پژوهش موسکویت و بیوتیت نماینده کانی‌های ورقه‌ای بودند.

در سنگ‌های گرانیتوئیدی بافت تاثیر بسیار زیادی بر خصوصیات فیزیکی و مکانیکی سنگ دارد و تاثیر مقدار کانی‌های مختلف بر خصوصیات فیزیکی و مکانیکی سنگ نسبت به بافت از اهمیت کمتری برخوردار است.

منابع

اصغری‌کلجاهی، ا.، شکری‌زیناب، س.، جهانگیری، ا (۱۳۹۶) بررسی تاثیر ویژگی‌های سنگ‌شناسی در مقاومت و دوام سنگ‌های آتشفشانی مورد استفاده در پوشش محافظ میانگذر دریاچه ارومیه. مجله یافته‌های نوین زمین‌شناسی کاربردی. پاییز و زمستان ۱۳۹۶. دوره ۱۱. شماره ۲۲. ۱۹-۳۱.

امانیان، م.، حافظی‌مقدس، ن.، نیکودل، م. ح.، مهدی‌زاده شهری، ح (۱۳۸۴) ارزیابی نقش ویژگی‌های پتروگرافی در دوام و مقاومت سنگ‌های آذرین (مطالعه موردی موج‌شکن شهید رجایی). چهارمین کنفرانس زمین‌شناسی مهندسی و محیط زیست ایران، ۶۰ -۷۳.

سازمان زمین‌شناسی کشور (۱۳۷۱) نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ چهارگوش الیگودرز و گزارش آن.

سازمان زمین‌شناسی کشور (۱۳۸۴). نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ چهارگوش دهق و گزارش آن.

سازمان زمین‌شناسی کشور (۱۳۸۵) نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ چهارگوش شازند و گزارش آن.

ظاهری، ن.، زراسوندی، ع.، صامتی، م.، کاروانی، م.، پورکاسب، ه.، راست‌منش، ف (۱۳۹۴) بررسی تکامل زمین‌شناسی-فلززایی در منطقه خاور الیگودرز با استفاده از مطالعات کانی‌شناسی و زمین‌شیمی عناصر خاکی کمیاب و فرعی. مجله علوم زمین. بهار ۹۴، شماره ۹۵، ۲۵۹ - ۲۷۰.

فهیمی‌فر، ا و سروش، ح (۱۳۸۰) آزمایش‌های مکانیک سنگ (مبانی نظری و استانداردها) جلد اول (آزمون‌های آزمایشگاهی)، انتشارات شرکت سهامی آزمایشگاه فنی و مکانیک خاک، ۷۱۹ ص.

قبادی، م. ح.، علیجانی، ع (۱۳۸۸) اثر بافت و ویژگی‌های کانی‌شناسی بر روی خصوصیات زمین‌شناسی مهندسی گرانیتوئیدها و هورنبلند گابروهای الوند. مجله انجمن زمین‌شناسی مهندسی ایران. پاییز و زمستان ۱۳۸۸. جلد دوم. شماره ۳و۴. ۴۱ تا ۵۲.

Abd El– Hamid, M. A., Draz, W.M., Ismael, A.F., Gouda, M. A., Sleem, S.M (2015) Effect of Petrographical Characteristics on the Engineering Properties of Some Egyptian Ornamental Stones. International Journal of Scientific & Engineering Research, 6 (7).

Akessona, U,. Hanssonb, J., Stigha, J (2004) Characterization of microcracks in the Bohus granite, western Sweden, caused by uniaxial cyclic loading. Engineering Geology, 72: 131–142.

Arif, M., Hanif Bukhari, S. W., Muhammad, N., Sajid, M (2013) Petrography and Physicomechanical Properties of Rocks from the Ambela Granitic Complex, NW Pakistan. The Scientific World Journal, Article ID 349381, 8.

BSI 1981.Code of Practice for Site Investigations (BS 5930: 198) .British Standards Institution, London.

Ersoy, A,. Waller, M. D (1995) Textural characterization of rocks. Engineering Geology, 39 : 123-136.

Hussin, A,. Poole, C (2010) The Intragranular Textures of Aggregates and its Correlation to the Physical Properties. Sains Malaysiana, 39(1): 39–43.

Keikha, T., Keykha. H. A (2013) Correlation between Mineralogical Characteristics and Engineering Properties of Granitic Rocks. EJGE, 18: 4055-4065.

Mallo, S.J., Daku Sani, S (2012) Influence of Mineralogy and Fabric on the Engineering Properties of the Miango Granite Porphyry, North Central Nigeria. International Journal of Modern Engineering Research (IJMER), 2(6): 4600-4608.

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. Construction and Building Materials, 20: 1079–1088.

Sajid, M., Coggan, J., Arif, M., Anderson, J., Rollinson, G (2016) Petrographic features as an effective indicatore for the variation in strength of granites..,. Engineering Geology, 202: 44-54.

Yusofa, N.Q.A.M., Zabidia, H (2016) Correlation of mineralogical and textural characteristics with engineering properties of granitic rock from Hulu Langat, Selangor. Procedia Chemistry, 19: 975 – 980.

The relationship between petrology and physical and mechanical properties of Granitoid rocks

M. H. Ghobadi[1*], L. Ahmadi[2], M. M. Miri[3] and S.R. Jafari[4]

1, 2, 3- Dept., of geology, Faculty of Science, Bu-Ali Sina University, Hamedan
4- Dept., of geology, Payame Noor University

* amirghobadi@yahoo.com

Recieved: 2017/8/13 Accepted: 2018/6/18

Abstract

In this research the relationships between petrological properties and physical and mechanical characteristics have been investigated in three different granitoid rocks. According to field investigations granitoid with coarse, medium and fine texture from three regions respectively Golpaigan (Hassn Robat), Aligudarz (Pirtak) and Borujerd (Tavandasht) were selected and sampled. Laboratory studies on these samples and their thin sections determined mineralogical and petrological composition. According to testes results some of the physical properties such as porosity and density, and some of the mechanical properties such as point load strength and uniaxial compressive strength were determined. Then relationship between physical and mechanical properties with petrological characterizes have been studied. This research showed that in these granitoid rocks the effect of the texture type on physical and mechanical properties is greater than mineralogical composition. Also findings showed that the investigation on petrological properties as primary index for evaluation of physical and mechanical properties of granitoid rocks could be used.

Keywords: Granite, physical characteristics, mechanical characteristics, mineral boundary, porosity