علوم زمین خوارزمی (نشریه علوم دانشگاه خوارزمی)

محبوبه محمدی^{*}، محمود صادقیان، مریم شیبی، سکینه شکاری؛ دانشگاه صنعتی شاهرود، دانشکدهٔ علوم زمین _{دریافت ۹۶/۰۸/}۰۵ پذیرش ۹۷/۰۵/۰۵

چکیدہ

مجموعه دگرگونی- آذرین شتر کوه که در ۸۰ کیلومتری جنوب خاور شاهرود رخنمون دارد، طیف وسیعی از سنگهای آذرین و دگرگونی نئوپروتروزؤیک پایانی نظیر متاپلیتها، متابازیتها، متاکربناته، متاپسامیتی و گابرو، الیوین گابرو و دیوریت را شامل میشود. در این پژوهش تغییرات پارامترهای مغناطیسی سنگهای متاپلیتی درجه بالای این مجموعه در طی فرایندهای میگماتیتزایی و گرانیتزایی بررسی شده است. نتایج حاصل نشان میدهد میانگین بزرگای پذیرفتاری مغناطیسی (Km) در طی فرایندهای ذکرشده از الام ۵۹ به الام ۲۳ تنزل پیداکرده است. این کاهش بازتاب تغییرات کانیشناسی و سنگشناسی از جمله تخریب بیوتیت در طی واکنشهای تخریب شیمیایی- آبزدایی و تبدیل بیوتیت به اورتوکلاز یا مسکوویت درگذر از تحول گنیس به گرانیت است. گارنت، بیوتیت و به مقدار کمتر کانیهای اوپک (ایلمنیت یا مگنتیت) حاملهای مهم رفتار مغناطیسی سنگهای برسی شده هستند. میانگین ناهمگنی مغناطیسی تصحیح شده از ممنتیت) حاملهای مهم رفتار مغناطیسی سنگهای برسی شده هستند. میانگین ناهمگنی مغناطیسی تصحیح شده از معناطیسی اکثر بیضویهای مغناطیسی سنگهای برسی شده هستند. میانگین ناهمگنی مغناطیسی تحکره ای مغناطیسی اکثر بیضویهای مغناطیسی مربوط به گنیسها، کلوچهای شکل هستند. برگوارهای مغناطیسی بددستآمده از تعبیر و تفسیر دادههای مغناطیسی با برگوارههای مغناطیسی اندازهگیری شده در صحرا مطابقت خوبی نشان میدهد.

مقدمه

روش ناهمسان گردی پذیرفتاری مغناطیسی ^۱ (AMS) یکی از روشهای نوین است که در تعیین سازوکار جای گیری تودههای گرانیتوئیدی کاربرد گستردهای دارد. این روش در سایر شاخههای علوم زمین نیز بررسی شده است و در حال توسعه است. در این تحقیق تکنیک (AMS) بهمنظور بررسی تغییر و تحولات سنگ شناسی و کانی-شناسی در سیر پیشرفت فرایند دگر گونی ناحیهای متاپلیت ها از گنایس تا گرانیت زایی استفاده شده است. نتایج حاصل از این تحقیق که برای اولین بار در ایران انجام شده است نشان می دهد که به کارگیری فابریک های مغناطیسی در سنگ های دگر گونی می تواند اطلاعات مهمی از تحولات کانی شناسی و بافتی سنگ های دگر گونی در حین فرایندهای دگر گونی در اختیار ما قرار دهد.

[&]quot; شنویسنده مسئول mahbobemohammadi71@yahoo.com "

^{1.} Anisotropy of Magnetic Susceptibility

زمينشناسى

در حاشیهٔ شمالی پهنه ساختاری ایران مرکزی و یا به عبارتی بهتر در حدفاصل طرود، بیارجمند، میامی، مناطق نسبتاً وسیعی از سنگهای آذرین و دگرگونی رخنمون دارند که به مجموعههای دگرگونی-آذرین شترکوه، بند هزارچاه، سفید سنگ، گرانیتوئیدهای جنوبباختر میامی، جنوب دوچاه- ماجراد، دلبر، شمالباختر احمدآباد خارتوران، باختر رضاآباد خارتوران مشهور هستند. همهٔ این مجموعههای سنگی در زمرهٔ مناطق قدیمی و پیسنگی ایران مرکزی قرار میگیرند.

از میان آنها مجموعه آذرین-دگرگونی شترکوه در بین طولهای جغرافیایی "۱۰'۵۵ تا "۳۲'۵۵ و عرضهای جغرافیایی "۴۰'۴۲ تا "۴۷'۳۵ رخنمون دارد (شکل ۱). این منطقه بخشهایی از نقشههای زمینشناسی ۲۵۰۰۰۰: ۱ طرود [۱] و ۱۰۰۰۰۰: ۱ رزوه [۲] را شامل میشود. این مجموعه پیسنگی به سن نئوپروتروزوئیک پایانی (حدود ۵۳۷ تا ۵۴۸ میلیون سال پیش) [۳]، [۴]، [۵]. طیفی وسیعی از سنگهای آذرین و دگرگونی نظیر متاپلیتها، متاکربناتهها، متاپسامیتها، متابازیتها، متاریولیتها و همچنین سنگهای آذرین بازیک نظیر گابرو، الیوین گابرو و دیوریت را شامل میشود (شکل۱ پ).

بهطور کلی متاپلیتها طیفی از فیلیت، میکاشیست، گارنت شیست، گنیس، گارنت گنیس و میگماتیت را دربر می گیرند. بر اساس بررسیهای صحرایی میتوان طیفی از سنگهای دگرگونی از متاپلیتها تا میگماتیتها را مشاهده کرد که طی یک رژیم دگرگونی مراحل تکوینی خود را پشت سر گذاشتهاند و در مراحل پایانی به آستانهٔ گرانیتزایی نیز رسیدهاند (شکل ۲). با گذر از گنیس به گرانیت و گذر از مرز ذوب شرایط برای تبدیل سنگهای دگرگونی به آذرین در اثر به وقوع پیوستن واکنشهای آبزدایی و تخریب^۱، ترکیب بیوتیت به اورتوکلاز یا مسکوویت تبدیل شده است. تخریب و آبزدایی بیوتیت و تبدیل آن به ارتوکلاز در این سنگها طبق این واکنش انجام میشود [۶]:

K (Fe, Mg)₃ AlSi₄O₁₀(OH)₂ \rightarrow KAlSi₃O₈ + 3 (Fe⁺² + Mg⁺²) +1 SiO_{2 +} H₂O

بر اساس این واکنش، زایش کوارتز و ارتوکلاز، به تغییر رنگ سنگ و گرایش آن بهسمت رنگهای روشنتر منجر می شود که این تغییرات در بخشهای میانی منطقه بهراحتی مشهود است. بهنظر می سد ذوب بخشی درجا در ایجاد نوار بندی گنیسی در گنیسهای درجهٔ زیاد و میگماتیتها نقش مؤثری دارند [۷]. همه میگماتیتهای منطقه شتر کوه حاصل تفکیک دگرگونی و یا ذوب بخشی درجا هستند که مذاب های حاصل از ذوب بخشی آنها، به صورت رگهها و بسته های متشکوا منگیک دگرگونی و یا ذوب بخشی درجا هستند که مذاب های حاصل از ذوب بخشی آنها، به صورت رگهها و بسته های متشکل از کوارتز و فلد سپار آلکالن در لابه لای این سنگها ظاهر شده اند. این بخشها غالباً به رنگی روشن تر زمینهٔ سنگ مشاهده می شوند و از کوارتز، آلکالی فلد سپار، پلاژیوکلاز و بیوتیت تشکیل شده اند (شکل ۲ ت تا ج). فراوانی بیوتیت در بخشهای فلسیک بسیار کم تر از بخشهای تیره رنگ زمینهٔ سنگ است [۸]. گنیسها و گارنت گراوانی بیوتیت در بخشهای قارب و فلد سپار کم تر از بخشهای تیره رنگ زمینهٔ سنگ است آلم]. گنیسها دارای پورفیروبلاستهای گارنت و فلد سپار پتاسیم هستند و گاهی تحت تأثیر میلونیتی شدن، چشمهای ارتوکلازی با سطوح **X** و **X** و را نشان می دهند.

مقادیر اندکی از سنگهای آذرین گرانیتی به شکل تودههای نفوذی کوچک مقیاس نیز بهچشم میخورد (شکل۱). سنگهای دگرگونی از واحدهای سنگی متاپلیتی، متاپسامیتی، متاکربناتی و متابازیتی تشکیل شده است. دگرگونی در

^{1.} Dehydration - decomposition reactions



شکل ۱. الف) نقشهٔ پهنه ساختاری ایران برگرفته از [۹] و موقعیت قرارگیری منطقهٔ بررسی شده در ایران مرکزی، ب) نقشهٔ زمینشناسی سادهشده مجموعههای دلبر، بندهزارچاه، شترکوه و سفید سنگ در مجاورت یک دیگر که دارای شباهتهای ساختاری، سنگ شناسی و سنی با یک دیگر هستند [۶]. پ) نقشهٔ زمین-مناسی مجموعه شترکوه که بر اساس تصاویر ماهوارهای، پژوهش های صحرایی و با استفاده از نرمافزار Arc map ترسیم شده است [۴]. منطقه انتخاب شده برای بررسی فابریک های مغناطیسی با کادر دایرهای زرد رنگ در شکل نشان داده است.



شکل ۲. الف) تصاویر صحرایی نشاندهندهٔ ویژگیهای بارز گارنتمیکاشیستها، گارنت گنیسها، آمفیبولیتها و گارنت آمفیبولیتها و شواهدی از میگماتیتیشدن و تشکیل گرانیتها و پگماتیتها، ب) گارنت گنیس میلونیتی شده (در شکل ۳ تصاویر میکروسکپی تهیه شده مربوط به این نمونه سنگی ارائه شده است) (دره بهانگر، شمال پاسگاه محیطزیست جمیل، شمالخاور روستای سهل)، پ) گارنت گنیس دارای پورفیروبلاستهای گارنت. در اطراف گارنتها فقیرشدگی از کانیهای تیره بهوضوح دیده میشود که دلیل وقوع واکنشهایی است که به تشکیل گارنت

منجر میشود، ت، ث و ج) شواهدی از تشکیل بستههای کوچک گرانیتی و در واقع میگماتیتزایی، ج) در این نمونه-ها تفکیکشدگی بخشهای روشن و تیره بهوضوح مشخص است. بخشهای تیرهٔ غنی از بیوتیت و بخشهای روشن غنی از ارتوکلاز، کوارتز و پلاژیوکلاز هستند. چ) قطع شدگی برگوارگی بارز گنیسها بهوسیلهٔ بخش گرانیتی (دارای رنگ روشنتر). لامینههای باریک غنی از فلدسپار آلکالن و کوارتز موجود در گنیسها بهوسیلهٔ بخش گرانیتی (دارای گرانیتی موضعی قطع شدهاند، ح و خ) بستههای کوچک مقیاس پگماتیتهای سرشار از آلکالی فلدسپارهای کرم-صورتی رنگ، که خود را در فضای بین برگوارگی گنیسها یا میگماتیتهای سرشار از آلکالی فلدسپارهای کرم-مورتی رنگ، که خود را در فضای بین برگوارگی گنیسها یا میگماتیتها جای دادهاند، د) یک بسته کوچک پگماتیتی تورمالیندار (دانههای سیاه رنگ)، ذ و ر) تصاویر زیبایی از چینخوردگی گنیسها و آمفیبولیتهای گارنت-شترکوه). با توجه به سایر شواهد صحرایی در این محل، دگرشکلی پلاستیک در اوج شرایط دما – فشار دگرگونی و نزدیک به آستانه ذوب متاپلیتها انجام شده است) ز، س و ش) شواهدی از حضور آمفیبولیتها و گارنتآمفیبولیت-ها (در اصطلاح کلی متابازیتها) که همراه گنیسها و میگماتیتها یافت میشولیتها و گارنتآمفیبولیت-ها (در اصطلاح کلی متابازیتها) که همراه گنیسها و میگماتیتها یافت میشوند (در شکل ۵ تصاویر میکروسکپی تهیه شده مربوط به این نمونه سنگی ارائه شده است) (ز. درهٔ ملحآباد، و س و ش (در مطلاح میاوی شمال پاسگاه محیطزیست جمیل، شمال خاور روستای سهل). دانههای قهوهای خوشرنگ گارنت به وضوح در نمونههای دستی یا محیطزیست هریه میشاهده میشوند.

بیش ترین درجه خود تا حد آناتکسی و تشکیل مذاب های حاصل از تبلور متناسب با سنگ مادر خود پیش رفته است. در متاپلیت ها میگماتیت زایی به تشکیل آپلیت های گرانیتی و در متابازیت ها میگماتیت زایی به تشکیل گرانودیوریت، تونالیت و پلاژیو گرانیت منجر شده است.

سنگ مادر متابازیتها گدازههایبازالتی، دسته دایکهای دیابازی و تودههای نفوذی گابرودیوریتی کوچک مقیاس بودهاند [۳]، [۵]. با توجه به مجموعههای کانیایی متابازیتها و مجموعههای کانیایی سنگهای همراهشان (در بسیاری موارد متاپلیتها و در موارد کمتر متاکربناتها)، آنها درجههای دگرگونی متوسط تا بالایی (از اواخر شیستسبز تا آمفیبولیتبالایی) را نشان میدهند و به شیستسبز، آمفیبول شیست، آمفیبولیت و گارنت آمفیبولیت تحول پیدا کردهاند.

سنگهای متاپلیتی مجموعه دگرگونی شترکوه در چند مکان محدود بهوسیلهٔ دایکهایی به سن ژوراسیک میانی بالایی قطعشدهاند. این رخداد در مناطق هم جوار این مجموعه نظیر دلبر و بند هزارچاه و رضاآباد خارتوران بهطور گسترده مشاهده می شود.

سنگ نگاری

گنیسها اغلب دانهدرشت هستند و بافتهای گنیسی، چشمی، پورفیروبلاستی، پورفیروکلاستی، میرمیکتی، کاتاکلاستی، میلونیتی و لپیدوبلاستی در آنها مشاهده میشود (شکلهای ۳ و ۴). پورفیروکلاستهای گارنت، ارتوکلاز و پلاژیوکلاز در زمینهای از کوارتز و پلاژیوکلاز قرار گرفتهاند. در برخی موارد درشت بلورهای گارنت اغلب حاوی ادخالهایی از بلورهای کوارتز و پلاژیوکلاز و گاه اورتوکلاز هستند و بافت پوئی کیلوبلاستی نشان میدهند. از کانیهای فرعی آنها میتوان به آلانیت، زیرکن و آپاتیت اشاره کرد و اسفن، کلریت، سریسیت، کلسیت و اپیدوت جزء کانیهای ثانویه گنیسها محسوب میشوند. پورفیروبلاستها و پورفیروکلاستهای درشت آلکالی فلدسپار نظیر ارتوکلاز و برخی از ارتوکلازهایی که در اثر تحمل تنش به میکروکلین تحول پیدا کردهاند و همچنین پلاژیوکلازها و دگرشکلی آنها، ساخت و بافت چشمی زیبایی را در سنگهای گنیسی ایجاد کردهاند. تبدیل ارتوکلاز به میکروکلین یکی از شواهد و تحولات بارز در طی میلونیتی شدن است [۱۰]. در مواردی، آثاری از تأثیر فرایندهای دگریختی شکلپذیر بر علوم زمین خوارزمی (نشریه علوم دانشگاه خوارزمی)

پورفیروکلاستهای گارنت مشاهده میشود (شکل ۳ پ و ت). در این حالت، پورفیروبلاست گارنت متحمل دگرریختی شده و بهصورت کشیده سیگمایی مشاهده میشود. این نوع پورفیروبلاستها، پورفیروبلاستهای پوششی نوع سیگما هستند که در تعیین سوی برش کاربرد دارند (شکل۳ پ). با توجه به ادخالها و روابط بین پورفیروبلاستها و زمینه سنگ، پورفیروبلاستهای گارنت، همزمان تا بعد از دگرریختی تشکیلشدهاند.



ج

شکل ۳. الف و ب) گارنت گنیس میلونیتی شده با پورفیروبلاستهای گارنت (در نور XPL و XPL)، پ و ت) گارنت گنیس میلونیتی شده دارای آلانیت – همراه با ساب گرین شدن کوار تزها در بخش میانی تصویر (در نور XPL و PL). ث و ج) تصاویری از حضور بارز آلانیت در گنیس ها همراه با حاشیه ای از کلینوزوئیزیت (به رنگ آبی – خاکستری روشن). به دانه ریز شدن کوار تزها در پیرامون آلانیت که دارای مرزهای مضرّس و خاموشی موجی بارزی هستند، توجه شود (شاهدی بارز از میلونیتی شدن) (در نور XPL). نشانه های اختصاری کانیها عبار تند از: Aln = گارنت، Bio = بیوتیت، Kfs آلکالی فلدسپار (ار توکلاز و میکروکلین)، Plg = پلاژیوکلاز، Qtz = کوار تز، Aln = آلانیت و Cz - کلینوزوئیزیت آپلیتها دانهریز هستند و از کوارتز، آلکالی فلدسپار، بیوتیت، تورمالین و بهندرت مسکوویت تشکیل شدهاند (شکل ۴ پ و ت). خاموشی موجی، حاشیههای مضرّس، ساب گرین شدن (دانهریز شدن) از شواهد دگرریختی تحمیل شده بر این سنگها است. بافتهای پرتیتی و پرتیت شعلهای از بافتهای رایج موجود در این کانی است. در برخی نمونهها اعمال تنشهای ساختاری به خمیدگی ماکلهای پلی سینتتیک منجر شده است. بیوتیت به صورت بی شکل تا نیمه شکل دار بوده و دارای ادخالهایی از زیرکن، کانیهای ایک و آپاتیت است. هم رشدی تورمالین و کوارتز در این سنگها حتی در مقیاس ماکروسکوپی نیز به خوبی قابل مشاهده است.



شکل ۴) الف و ب) بافت چشمی ناشی از حضور پورفیروبلاست و پورفیروکلاست ارتوکلاز در گنیسهای میلونیتی شده (نور XPL)، پ و ت) آپلیتهای گرانیتی میلونیتی شده (نور XPL). به دانهریز شدن (ساب-گرین شدن) و مرز مضرّس دانه ها توجه شود. نشانه های اختصاری کانی ها عبار تند از: Grt = گارنت، Bio بیوتیت، kfs= آلکالی فلدسپار (ارتوکلاز و میکروکلین)، Plg = پلاژیوکلاز، Qtz = کوار تز



شکل ۵. الف و ب) گارنت آمفیبولیت با پورفیروبلاست گارنت در بخش میانی تصویر (در نور XPL و PPL)، پ و ت) گارنت آمفیبولیت با پورفیروبلاست گارنت دارای بافت پوئیکیلوبلاستی (در نور XPL و PPL)، ث) آمفیبولیت با برگوارگی بسیار بارز ناشی از آرایش یافتگی هورنبلندهای سبز (در نور XPL)، ج) تصویر میکروسکوپی از یک نمونه گارنت آمفیبولیت در بخش میانی آن کوارتزهای نواری سابگرین شده (دانهریز شده) بهوضوح دیده میشود (در نور XPL). یارنت آمفیبولیت در بختصاری کانیها عبارتند از: Grt=گارنت، Hb = هورنبلند سبز، plg = پلاژیوکلاز، Qtz = 20

آمفیبولیتها و گارنت آمفیبولیتهایی که بههمراه گنیسها یافت می شوند، از تحول سنگهای آذرین بازیک بهدست آمدهاند و غالباً از هورنبلند سبز، پلاژیوکلاز، گارنت و به مقدار کم تر پلاژیوکلاز تشکیل شدهاند. اسفن، روتیل، زیرکن و گاه بیوتیت از جمله کانیهای فرعی آنها هستند. کلریت، اپیدوت و کلسیت به عنوان کانی ثانویه در آنها یافت می شود. این سنگها بافت پورفیروبلاستی، نماتوبلاستی و پوئی کیلوبلاستی بارزی نشان می دهند هم چنین شواهدی بارزی از میلونیتی شدن نظیر ساب گرینشدن (دانهریز شدن) کوارتز و در مواردی گارنت، هورنبلند و پلاژیوکلاز نیز در آنها دیده میشود (شکل ۵).

روش کار

بهمنظور بررسی فابریکهای مغناطیسی، از سنگهای گنیسی-گرانیتی مجموعه شترکوه در ۳ ایستگاه تحقیقاتی (شکل ۱ پ)، ۳۸ نمونههای جهتدار (مغزه) (۲۹ مغزه گنیسی و ۹ مغزه آپلیتی) به قطر ۲۵ میلیمتر و طول ۱۰۰ تا ۲۰۰ میلیمتر گرفته شد که پس از برش و آمادهسازی به ۲۳۰ قطعهٔ مغزه به قطر ۲۵ میلیمتر و طول ۲۱ میلیمتر تبدیل شد. پارامترهای مغناطیسی نمونههای سنگی آمادهسازی شده پس از طی مراحل شستشو و خشک کردن، در دانشگاه صنعتی شاهرود به وسیلهٔ دستگاه کاپابریج مدل MFK1-FA ساخت کشور چک اندازه گیری شد (شکل ۶). این دستگاه، پذیرفتاری مغناطیسی را با دقت SI ⁸⁻¹⁰ اندازه گیری می کند. برای دستیابی به شرح تفصیلی چگونگی عملکرد دستگاه کاپابریج به [۱۱]-[۱۷] مراجعه شود. پارامترهای مغناطیسی نمونههای سنگی متعلق به هر ایستگاه (بهطور میانگین) همراه با مختصات جغرافیایی آنها (برحسب UTM) در جدول (۱) ارائه شده است. از دادههای این جدول برای ترسیم نقشههای مبتنی بر فابریکهای مغناطیسی یا پارامترهای مغناطیسی استفاده شده.



شکل ۶. دستگاه کاپابریج مدل MFK1-FA ساخت کشور چک موجود در آزمایشگاه ژئومغناطیس دانشکدهٔ علوم زمین دانشگاه صنعتی شاهرود

	_			_					
Name	Х	Y	Km(μSI)	Р%	Т	$K_1(d/i)$	K ₃ (d/i)		
گنیس									
١	266934	341708	۵۱۵	17/57	•/\\	193/14	۲۳/۷۰		
٢	"	"	447	14/18	•/87	١٨٥/٢٩	280/02		
٣	"	"	490	۱۵/۷۷	۰/۶۱	۲۳۶/۸	886/41		
۴	"	"	۵۰۹	۱۲/۸۸	• /Y۵	124/14	881/18		
۵	"	"	78.	۱۵/۲	• /YY	188/21	880/81		
۶	849810	8901047	801	٨	•/•۴	105/5.	4.148		
٧	"	"	478	۸/۴۲	•/•٣	141/22	۳۰/۴۱		
٨	"	"	417	۸/۳۴	٠/١٨	187/5.	21/40		
٩	"	"	474	۹/۰۳	-•/ \Y	14.11	18/08		
١٠	"	"	۲۸۶	18/18	٠/٧٢	٩٩/٣•	۱۹۶/۳۱		
11	"	"	249	14/91	• /Y	1188.	226/68		
١٢	"	"	275	10/14	۰/۸۴	194/11	308/48		
١٣	"	"	777	14/1	•/٨	۱۳۸/۱۱	340/2V		
14	"	"	787	11/Y	٠/٧٩	۱۶٩/V	۲۵٩/۵۱		
۱۵	"	"	784	۱۵/۲۸	٠/٧٩	234/38	14/40		
18	"	"	۲۷۰	14/19	٠/٨۴	۱ <i>۸۶/</i> ۲۹	341/20		
١٧	"	"	2.9	14/18	• /٨٣	144/22	۳۵۳/۵۵		
١٨	"	"	۳۵۸	$\Delta/\Lambda\Lambda$	•/• ٩	۱۴۷/۳۰	۲۷۱/۳۰		
۱۹	"	"	418	٣/٧	۰/۱۳	171/01	۲ ۱ ۸/۹		
۲۰	30.018	301080	۲۱۷	11/77	-•/•Y	184/88	202/01		
۲ ۱	"	"	788	۱۲/۰۸	•/۵Y	۱۵۰/۲۰	TQY/LY		
22	"	"	۲۸۳	٧/ • ٣	۰/۵۶	۱۳۱/۳۵	748/29		
۲۳	"	"	۲۳۶	۱۰/۶۸	• 99	111/44	241/21		
74	"	"	274	٩/٧٨	•/٣٣	137/36	208/29		
۲۵	"	"	۲۱۳	1./88	٠/٧۴	12.11	۲۷۶/۳۹		
78	"	"	۲۳۰	17/18	۰۵۹	۱۰۸/۴۰	227/20		
۲۷	"	"	۲۳۰	41.8	۰/۳۳	101/17	266/26		
۲۸	"	"	۲۳۸	۵/۰۴	•/۶V	۹۸/۱۶	222/29		
۲۹	"	"	711	۱۰/۴۳	• /YY	171/74	744/20		
آپلیت									
٣٠	۳۵۰۵۷۶	۳۵۱۵۴۵	٣	۲٩/٨	•/۴	141/22	551/48		
۳۱	"	"	١٨٢	17/4	• 8	۱۳۸/۳۹	204/29		
٣٢	۳۴۹۹۰۸	3402118	١٨٣	11/8	• /Y	۲۷۸/۴	۲۷۷/۳۵		
٣٣	"	"	١١۵	۱ <i>۶</i> /۷	•/97	105/51	30·/78		
34	"	"	۱۰۸	18/4	•/٨	T18/TF	18/88		
۳۵	"	"	۱۰۵	۱۸/۲	• /Y	۲・ ۲/۲۸	846/00		
۳۶	849810	39027000	۶٨	۲۳/۳	٠/٨۴	514/51	846/49		
۳۷	"	"	184	18	• /YY	143/1.	18/181		
۳۸	"	"	١٢٨	1 V/V	• /YA	118/18	14/49		
RMI: پدیرفتاری معناطیسی میاندین، ۳۶ درصد ناهمساندردی معناطیسی، ۱: میاندین پارامنز سدن، ۱۱۵۲ - ۲۲ درصد با دربابه میاند (۱۱۵ - ۲۷ درصد با «با ۲۰ می دربابه ا									
(K1(d/i): روند و میل خطواره مغناطیسی، K3(d/i): روند و میل قطب برگوارههای مغناطیسی									

جدول۱. پارامترهای مغناطیسی نمونههای سنگی متعلق به هر ایستگاه (بهطور میانگین) همراه با مختصات جغرافیایی آنها برحسب (UTM)

جدول ۲. مقادیر میانگین تعداد نمونهها و مغزههای برداشت شده

و پارامترهای مغناطیسی به تفکیک ترکیب سنگشناسی آنها

Lith.	N _s	N _{cc}	Km(µSI) _(Avg)	P% (Avg)	T _(Avg)
گنيس	۲۹	١٣٧	۳۲۶	۱۱/۵۸	• /۵۵
آپلیت	٨	۵۵	١٠٧	١٨	۰/۷۲
د قطعه مغزه.	Ncc: تعداد	ىداد مغز ەھا.	ب سنگشناسی مغزهها. Ns: تع	ختصارى: Lith: تركي	وضيح علائم ا

پارامتر K یا ضریب پذیرفتاری مغناطیسی، متناسب با نسبت بین میزان مغناطیس شدگی M و شدت میدان مغناطیسی القاشده بر آن H یعنی (M/H) است که مهم ترین پارامتر در سنجش فابریک مغناطیسی سنگها است [۱۸]. تغییرات میزان پذیرفتاری مغناطیسی در فضای سهبعدی نمونههای سنگی را میتوان به صورت یک بیضوی مغناطیسی تجسم کرد که بزرگترین بردار مغناطیسی آن با نماد K، معرف خطوارگی مغناطیسی است [۱۸].

کوچکترین بردار بیضوی مغناطیسی با نماد (K₃)، معرف قطب برگوارگی مغناطیسی است و بردار حدواسط بین K₁ و K₃ نیز با نماد (K₂) نشان داده میشود (K₃<K₂<K₁) [۱۹]. با توجه به مقادیر K₁,K₂,K₃ پارامترهای زیر معرفی میشوند. (Km = (K₁+K₂+K₃) = kn، این پارامتر مهمترین پارامتر در روش ناهمگنی پذیرفتاری مغناطیسی است و میزان Km با نوع کانیهای حامل رفتار مغناطیسی و فراوانی آنها رابطهٔ مستقیم دارد.

[(K₁/K₃) ا 10 = % درصد ناهمگنی مغناطیسی میتوانند انعکاسی از نوع کانیهای حامل رفتار مغناطیسی و دگرشکلی یا بافت و ساخت سنگ باشند.

(T=(2ln(K₂/K₃)/ln(K₁/K₃)) این پارامتر (T)، چگونگی شکل بیضوی مغناطیسی را توصیف میکند. شکل (بین ۵۰ و ۱+) در نوسان بیضوی مغناطیسی که میتواند از دوکی و سیگاری^۱ شکل (بین ۰ و ۱+) در نوسان باشد.

پارامترهایی که از روابط بالا بهدست میآیند مبنای تعبیر و تفسیر پارامترهای مغناطیسی می گیرند.

بحث و بررسی

بررسی پارامترهای مغناطیسی در گنیسها

پذیرفتاری مغناطیسی میانگین

بررسی پارامترهای مغناطیسی گنیسهای مجموعه دگرگونی-آذرین شتر کوه نشان می دهد که مقدار Km گنیسها از IT ۲۰۰ μSI تا ۶۷۰ μSI متغیّر است. بیش ترین مقدار Km مربوط به گنیسی درشت دانه و حاوی بلورهای درشت بیوتیت و گارنت است (شکل ۷). مقدار Km میانگین گنیسهای بررسی شده μSI ۳۴۴ است. مارتین و همکاران معتقدند گنیسها به دلیل دارا بودن مقادیر چشم گیر کانیهای فرومنیزین، نظیر بیوتیت دارای مقدار Km میانگین معتقدند گنیسها به دلیل دارا بودن مقادیر چشم گیر کانیهای فرومنیزین، نظیر بیوتیت دارای مقدار Km میانگین اعتقدند گنیسها به دلیل دارا بودن مقادیر چشم گیر کانیهای فرومنیزین، نظیر بیوتیت دارای مقدار km میانگین بیوتیت ازجمله عواملی هستند که می توانند باعث بروز تغییراتی در مقادیر Km گنیسها شوند. در ضمن حضور مگنتیت، ایلمنیت، هورنبلند سبز، اسفن، اپیدوت و آلانیت نیز می توانند به بروز تغییراتی در مقادیر Km گنیسها منجر شوند. در شکل ۷ تغییرات مقادیر Km گنیسهای مجموعه شتر کوه همراه با آپلیتها نشان داده شده است.

^{1.} Oblate

^{2.} Prolate

توجه کنید که مقدار Km آپلیت به مقدار چشمگیری کمتر است. این امر بهعلت فراوانی کمتر بیوتیت یا فقدان آن و عدم حضور هورنبلند سبز، آلانیت و اسفن در آپلیتها است.

بررسی پارامترهای مغناطیسی گنیسها و شواهد صحرایی و پتروگرافی، بیانگر آن است که میتوان آنها را به دو گروه تقسیم کرد. گروه اول در نمونههای دستی درشتبلور بوده و دانههای بیوتیت و گارنت آن با چشم غیر مسلح دیده میشوند. بهدلیل فراوانی بیوتیت و گارنت در زمینه این سنگها پذیرفتاری مغناطیسی بالایی نشان میدهند، بهطوری که میزان Km آنها از ۲۰۰۴SI تا ۶۰۰۴SI در نوسان است (شکل ۷).

گروه دوم گنیسهایی هستند که دچار ذوببخشی موضعی شدهاند. این گنیسها ریزدانهتر هستند، فلدسپارزایی در آنها مشاهده میشود. همچنین فراوانی بیوتیت در آنها کمتر است و به دلیل ذوب بخشی موضعی صورت گرفته، مقدار Km آنها به طور چشم گیری کاهش یافته است به طوری که مقدار Km آنها به ندرت از ST فراتر می رود و تغییرات Km آنها بین ۱۵۰ μSI تا ۱۵۰ ۲۰۲ است. این تغییرات، می تواند منعکس کننده تأثیرات وقوع واکنشهای تخریب و آبزدایی بیوتیت باشد. در نتیجه واکنش تبدیل بیوتیت به ار توکلاز، در برخی موارد گارنت مقداری سیال و سیلیس تشکیل می شود. کاهش مقدار بیوتیت با کاهش مقادیر Km همراه است.

Biotite: $K(Mg,Fe^{2+})_3$ [Al Si₃O₁₀] (OH)₂ - Km: 800-3000 µSI Garnet: $(Mg,Fe^{2+})_3$ (Al,Cr,Fe³⁺)₂ [SiO₄]₃ - Km: ~ 1000 µSI



شکل ۷. نمودار تغییرات پذیرفتاری مغناطیسی (Km) در گنیسها و آپلیتها

ناهمسانی مغناطیسی (P) و پارامتر شکل(T)

در مناطقی که دگرشکلی شدیدی متحمل شدهاند، خطوارگی مغناطیسی به موازات جهت کشش (K_{max}) و جهتیابی محور K_{min} به موازات جهت کوتاهشدگی است (شکل ۸) [۲۱]. شکل ۸ رابطهٔ بین برگوارگی توسعهیافته و قابل مشاهده در نمونههای سنگی، بیضوی مغناطیسی مربوط، استریوگرام مبتنی بر اندازهگیریهای مغناطیسی و همچنین نمودار پارمتر شکل (T) در مقابل ناهمسانی مغناطیسی تصحیح شده (PJ) را نشان میدهد. مقادیر مثبت و بالای پارامتر شکل و ناهمسانی مغناطیسی بالای نشان داده شده با نمونههای بررسی شده در این مقاله هماهنگی خوبی نشان میدهد.

گنیسهایی که در آنها فلدسپارزایی انجام شده است دارای مقادیر %P متوسط تا زیاد و T مثبت با مقدار چشمگیری (بیش از ۵/) است (شکلهای ۹ و ۱۰). ازآنجاکه فلدسپارزایی گنیسها و میگماتیتزایی در دمای نسبتاً بالا صورت میگیرد T این نوع از سنگها، در مقایسه با سنگهایی با دمای پائین تر، اما با ترکیب مشابه، دارای دمای بیش تری هستند و برای شکلپذیری استعداد بیش تری دارند، در نتیجه پارامترهای %P و T آن به مقدار چشم گیری افزایش می یابد. درصد انیزوتروپی (%P) در این دسته از سنگها بین ۵ تا ۱۸ درصد متغیّر است و پارامتر شکل آنها از ۲۴/۰ تا ۱۹/۰ در نوسان است و در نتیجه اکثر بیضویهای مغناطیسی آنها کوچهای شکل هستند (شکلهای ۹ تا ۱۳). قطب برگوارههای مغناطیسی همگنی نسبتاً خوبی نشان می دهد و میانگین آنها دارای مشخصات [°]/۶۲ است. بهترین خطواره یا میانگین خطوارههای مغناطیسی دارای مشخصات [°]۳۱



شکل۸. بر اساس شکل ۱۹ از [۱۸]، [۲۲] خطوارگی مغناطیسی این منطقه، الف) تحت تاثیر دگرشکلی شدید قرار گرفته است، ب و ج) به موازات جهت کشش جهتیافتگی پیدا کرده است، د) بر این اساس میزان P و T بالا و میزان دگرشکلی آن مثبت است.



شکل ۹ . نمودار تغییرات درصد ناهمسانگردی در مقابل پذیرفتاری مغناطیسی برای گنیسهای دانهدرشت پر بیوتیت و گنیسهای دانهریزتر حاوی مقادیر کمتری بیوتیت



شکل ۱۰ . نمودار درصد ناهمسانگردی مغناطیسی (P) در مقابل پارامتر شکل (T) برای گنیسهای دانهدرشت پر بیوتیت و گنیسهای دانهریزتر حاوی مقادیر کم تری بیوتیت



(Km) شکل ۱۱. نمودار تغییرات ناهمگنی پذیرفتاری مغناطیسی (P) در مقابل پذیرفتاری مغناطیسی در گنیسها و آپلیتها. علایم مشابه شکل ۷



[Downloaded from gnf.khu.ac.ir on 2024-05-06]



شکل ۱۳. الف) استریوگرام نشان دهنده موقعیت مکانی K_1 و K_2 و K_3 مربوط به نمونههای گنیسی (بهازای هر قطعه مغزه)، ب) میانگین دادهها برای K_1 و K_3 و K_3 ، چون این تصویر به صورت خلاصه ارائه شده است، فهم مقادیر میانگین را بهتر نشان میدهد. K_1 و K_3 و K_3 = مثلث سبز و K_3 = دایره قرمز، ج) استریوگرام نشان دهنده موقعیت مقطع بهتر نشان میدهد. K_2 مربع آبی، K_2 = مثلث سبز و K_3 = دایره قرمز، ج) استریوگرام نشان دهنده موقعیت مقطعه را بهتر نشان میده است، فهم مقادیر میانگین را بهتر نشان میده ارا استریوگرام نشان دهنده موقعیت می مناز و K_3 = مثلث سبز و K_3 = دایره قرمز، ج) استریوگرام نشان دهنده موقعیت نقطب برگوارههای مغناطیسی میانگین (دایرههای آبیرنگ) نمونههای گنیسی (برای نمونه ۲۹مغزه)، د) استریوگرام نشان دهنده موقعیت قطب برگوارههای معناطیسی میانگین و همچنین صفحات برگوارگی مغناطیسی (نصفالنهارهای قهوهای رنگ) نمونه و ۲۹ مغزه)، د)

بررسی پارامترهای مغناطیسی در آپلیتهای گرانیتی

پذیرفتاری مغناطیسی میانگین

در برخی نقاط متاپلیتهای مجموعه شترکوه شواهدی از میگماتیتزایی نشان میدهند. این پدیده با تشکیل آپلیتهای گرانیتی همراه بوده است. ذوب بخشی درجا مهم ترین فرایند مؤثر در تشکیل آپلیت به حساب میآید. سیلیس موجود در سیالات حاصل از فرآیند آبزدایی کانیهای آبدار نظیر بیوتیت، به درون فضاهای باز و درزهها و شکستگیها راهیافته و پس از تبلور به صورت رگهها و رگچههای سیلیسی تجلی پیدا کرده است.

از کل مغزههای حفاری شده در این منطقه تعداد ۹ مغزه مربوط به آپلیتهای گرانیتی است. مقدار Km آپلیتها از ۳ تا ۱۸۷ µSI متغیّر است. مقدار Km میانگین آپلیتهای بررسی شده ۱۰۷ µSI ۱۰۷ است (شکلهای ۷ و ۱۱). دلیل کم بودن میزان Km در آپلیتها، نبود کانیهای فرومنیزین و زیاد بودن درصد کانیهای فلسیک است [۲۳].

ناهمسانی مغناطیسی (P) و پارامتر شکل(T)

درصد انیزوتروپی (P%) در آپلیتها بین ۱۱ تا ۲۹ درصد متغیّر است (بهطور میانگین) و پارامتر شکل آنها از ۰/۴ تا ۰/۹۲ در نوسان است (میانگین ۰/۷۲) و در نتیجه اکثر بیضویهای مغناطیسی، کلوچهایشکل هستند (شکل ۸). روند کلی برگوارگی در این دسته خاوری- باختری و شمالباختری- جنوبخاوری است.



شکل ۱۴. الف) استریوگرام نشاندهندهٔ موقعیت مکانی K₁ یK₂ و K₃ مربوط به نمونههای آپلیتی (به ازای هر قطعه مغزه)، ب) میانگین دادهها برای K₂ رK₃ و K₂ یچون این تصویر به صورت خلاصه ارائه شده است، فهم مقادیر میانگین را بهتر نشان میدهد. K₁= مربع آبی، K₂ = مثلث سبز و K₃ = دایره قرمز، ج) استریوگرام نشاندهندهٔ موقعیت قطب برگوارههای مغناطیسی میانگین (دایرههای قرمز رنگ) نمونههای آپلیتی (برای نمونه ۹ مغزه)، د) استریوگرام نشاندهندهٔ موقعیت قطب برگوارههای مغناطیسی میانگین و همچنین صفحات برگوارگی مغناطیسی (نصفالنهارهای آبیرنگ) نمونههای آپلیتی مجموعه شترکوه (برای نمونه ۹ مغزه)

 K_{2} , K_{1} مونههای سنگی برداشتشده از ایستگاههای بررسی شده، موقعیت محورهای K_{1} و K_{2} و K_{1} آشفتگیهایی نشان میدهند که در نگاه اول نوعی بینظمی یا عدم انطباق به نظر میرسد (شکلهای ۱۳ و ۱۴) ولی تفکیک دادهها برحسب موقعیت مکانی و گروههای سنگی، مشخص می سازد که هر نمونه سنگی از لحاظ موقعیت محورهای K_{3} , K_{2} , K_{1} یا به عبارتی خطوارگی و برگوارگی مغناطیسی دارای ویژگیهای خاصی است و ظم محسوسی دارد. این نتیجه گیری به ما گوشزد میکند که در محموارهای در محموارهای در دادههای دارد. این نتیجه گیری به ما گوشزد میکند که در محیطهای دگرگونی باید در تفسیر استریوگرامها مبتنی بر دادههای مغناطیسی دارد. این نتیجه گیری به ما گوشزد میکند که در محیطهای در گرونی باید در تفسیر استریوگرامها مبتنی بر دادههای مغناطیسی دارد.

در منطقهٔ بررسی شده اغلب برگوارههای مغناطیسی کم شیب هستند. برخی از برگوارههای مغناطیسی همدیگر را در ربع جنوب خاوری استریوگرام قطع میکنند (شکلهای ۱۳ و ۱۴)، این پدیده با وجود چینخوردگی در گنیسهای میلونیتی شده سازگار است. خطوارههای مغناطیسی نیز عمدتاً بهسوی جنوبخاور آرایش یافتهاند.



شکل ۱۵. الف) استریوگرام نشاندهندهٔ موقعیت خطوارههایی که از طریق برداشتهای صحرایی اندازهگیری شدهاند. به تمرکز نقاط معرّف خطوارهها در ربعهای دوم و چهارم و در حاشیهٔ استریوگرام که معرف شیب کم آنها است، ب) استریوگرام نشاندهندهٔ وضعیت صفحات برگوارگی برداشت شده طی بررسیهای صحرایی مجموعه دگرگونی شترکوه. به تمرکز صفحات برگوارگی در مناطق حاشیهای استریوگرام که معرف شیب کم آنها است.

بهمنظور بررسی صحّت و سقم نتایج بهدست آمده از بررسی فابریکهای مغناطیسی، از نتایج حاصل از برداشتهای خطوارهها و برگوارههای قابل رؤیت صحرایی نیز استفاده شده است [۲۴]. در اینجا از ارائه فهرست تفصیلی دادهها صرفنظر شده است. استریوگرام نشاندهندهٔ موقعیت خطوارههایی که از طریق برداشتهای صحرایی اندازهگیری شدهاند در شکل ۱۵ الف نشان داده شدهاند. نقاط معرّف خطوارهها در ربعهای دوم و چهارم متمرکز شدهاند و تجمع آنها در حاشیه استریوگرام معرف شیب کم آنها است. در شکل ۱۵ ب استریوگرام وضعیت صفحات برگوارگی برداشت شده در طی بررسیهای صحرایی مجموعه دگرگونی شترکوه نشان داده شده است. تمرکز صفحات برگوارگی در مناطق حاشیهای استریوگرام معرف شیب کم آنها است. در مجموع این استریوگرامها که برمبنای شواهد ساختاری قابل اندازهگیری در صحرا بنا شدهاند، نتایج بهدست آمده از بررسی فابریکهای مغناطیسی را تأیید میکنند.

بررسی همزمان پارامترهای P و T از یکسو و مطالعات پتروگرافی سنگهای دگرشکل شده نشان میدهد، با افزایش شدت میلونیتیشدن (که با سابگرین شدن (دانهریز شدن) و توسعه بیشتر برگوارگی و خطوارگی همراه است)، ارتباط مستقیمی و مثبت (یا فزاینده) وجود دارد. با این وجود، اگر در طی میلونیتیشدن در حضور سیالات تغییرات سنگشناسی و کانیشناسی، با دگرسانی و بهتبع آن با کاهش پذیرفتاری مغناطیسی همراه باشد، باید در تعبیر و تفسیر نتایج بهدستآمده دقت بیشتری به خرج داد. درصد انیزوتروپی در آپلیتها بسیار بالا است و میلونیتی-شدن شدید آنها، عامل اصلی بروز این واقعیت است.

نتيجهگيرى

اندازه گیری و بررسی پارامترهای مغناطیسی متاپلیتی مجموعه دگرگونی- آذرین شتر کوه نشان میدهد که مقدار میانگین پذیرفتاری مغناطیسی (Km) گنیسها از γ۰۰ μSI تا γ۰۰ متغیّر است. گارنت، بیوتیت و به مقدار کمتر کانیهای اوپک (ایلمنیت یا مگنتیت) حاملهای مهم رفتار مغناطیسی سنگهای بررسی شده هستند. درصد ناهم سانگردی مغناطیسی از ۰/۸ تا ۴۴ درصد و همچنین مقدار پارامتر شکل این سنگها از ۴۴/۰- تا ۱۹/۰متغیّر است. بر اساس تفسیر فابریکهای مغناطیسی اکثر بیضویهای مغناطیسی مربوط به گنیسها کلوچهای شکل هستند. برگوارههای مغناطیسی بهدستآمده از تعبیر و تفسیر دادههای مغناطیسی با برگوارههای مغناطیسی اندازه گیری شده در صحرا مطابقت خوبی نشان میدهد.

منابع

۱. علوی نائینی منصور، هوشمندزاده عبدالرحیم، "تهیه نقشهٔ زمین شناسی ۲۵۰۰۰۰ : ۱ ترود" (۱۳۵۵).
۲. رحمتی ایلخچی محمود، "شرح نقشه زمین شناسی ۲۱۰۰۰۰۰ (زوه"، سازمان زمین شناسی کشور (۱۳۸۲).

- ۳. شکاری سکینه، صادقیان محمود، قاسمی حبیبالله، مینگو جای، "شیمی کانی و پتروژنز متابازیتهای مجموعه دگرگونی-آذرین شترکوه (جنوبخاور شاهرود) شاهدی بر تکوین حوضههای کافتی نئوپروتروزوئیک پایانی. فصلنامهٔ علوم زمین، سال بیست و هفتم، شمارهٔ ۱۰۵(۱۳۹۶) ۱۸۲–۱۶۷.
- ۴. شکاری سکینه، صادقیان محمود، قاسمی حبیبالله، مینگو جای، "شیمی کانی و پتروژنز متاپلیتهای مجموعه دگرگونی-آذرین شترکوه (جنوب شرق شاهرود، مجله بلورشناسی و کانیشناسی ایران .سال بیست و ششم، شمارهٔ ۱ (۱۳۹۷) ۱۱۴-۱۴۹.
- ۵. شکاری سکینه، صادقیان محمود، مینگو جای، قاسمی حبیبالله، "اولین گزارش سن سنجی از گابرودیوریتهای مجموعه دگرگونی-آذرین شترکوه (جنوب شرق شاهرود)"، بیست و چهارمین همایش ملی بلورشناسی و کانیشناسی ایران، شاهرود (۱۳۹۵).
- ۲. بلاغی اینالو زری، صادقیان محمود، قاسمی حبیبالله، محجّل محمد، عمرانی هادی، "پترولوژی، ترموبارومتری و سنسنجی U-Pb سنگهای متاپلیتی مجموعه دگرگونی دلبر، منطقه بیارجمند (جنوب شرق شاهرود)"، مجله پترولوژی دانشگاه اصفهان، جلد ۶، شمارهٔ بیست و یک (۱۳۹۴) ۸۲–۵۵.
- 7. Barker A. J., "An introduction to metamorphic textures and microstructures", Publisher: 2th editions, Routledge, London (2004).
- ۸. شکاری سکینه، صادقیان محمود، مینگو جای، قاسمی حبیب الله، "شواهد میگماتیتزایی در مجموعه دگرگونی-آذرین شترکوه (جنوب شرق شاهرود)"، بیست و چهارمین همایش ملی بلورشناسی و کانیشناسی ایران، شاهرود (۱۳۹۵).
- Ramezani J., Tucker R. D., "The Saghand region, central Iran: U-Pb geochronology, petrogenesis and implications for Gondwana tectonics", American Journal of Science., 303 (2003) 622 665.
- 10. Vernon R. H., "A practical guide to rock microstructure", Cambridge University Press, Cambridge (2004) 594.
- ۱۱. قلمقاش جلیل، "مطالعه تودههای نفوذی منطقه اشنویه و بررسی ساز و کار جایگزینی آنها"، رسالهٔ دکتری، دانشکده زمین، دانشگاه تهران (۱۳۸۱).

۱۲. صادقیان محمود، "ماگماتیسم، متالوژی و مکانیسم جایگزینی تودهٔ گرانیتوئیدی زاهدان"، رسالهٔ دکتری دانشکده علوم پایه، دانشگاه تهران (۱۳۸۳).

- ۱۳. شیبی مریم، "پترولوژی، ژئوشیمی و سازوکار جای گیری باتولیت گرانیتوئیدی شیرکوه (جنوب غرب یزد)"، رسالهٔ دکتری پردیس علوم، تهران (۱۳۸۸).
- ۱۴. گوانجی نگار، "مکانیسم جایگزینی تودهٔ گرانیتوئیدی جنوب ظفرقند (اردستان) بهوسیله روش AMS"، پایاننامهٔ کارشناسی ارشد دانشکدهٔ علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود (۱۳۸۹).
- ۱۵. شکاری سکینه، "بررسی مکانیسم جای گزینی توده گرانیتوئیدی درّه باغ (شمالغرب الیگودرز) با استفاده از روش انیزوتروپی پذیرفتاری مغناطیسی (AMS) "، پایاننامهٔ کارشناسی ارشد دانشکدهٔ علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود (۱۳۹۰).
- ۱۶. حمیدی محسن، "تعیین سازوکار جای گزینی توده گرانیتوئیدی حسن رباط با استفاده از روش ناهمگنی قابلیت پذیرفتاری مغناطیسی (AMS)"، پایان نامهٔ کارشناسی ارشد دانشکدهٔ علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود (۱۳۹۲).
- ۱۷. محمدی محبوبه، "بررسی تغییرات پارامترهای مغناطیسی سنگهای متاپلیتی درجه بالا در طی فرایندهای میگماتیتزایی و گرانیتزایی مجموعه دگرگونی-آذرین شترکوه در حدفاصل گرگابی-جمیل (جنوبشرق شاهرود)"، پایاننامهٔ کارشناسیارشد دانشکدهٔ علوم زمین دانشگاه صنعتی شاهرود (۱۳۹۵).
- Tarling D. H., Hrouda F., "The magnetic Anisotropy of rocks", Chapman & Hall, London, (1993) 217.
- Jelink V., "Characterization of the magnetic fabrics of rocks", Tectonophysics 79, (1981) 7-63.
- Bouchez J. L., Hutton D. H. W., Stephens W. E., "Granite: from segregation of melt to emplacement fabrics", Kluver, (1997) 358.
- Martins H. C. B., "Sant'Ovaia H. and Noronha F. "Late-Variscan emplacement and genesis of the Vieira do Minho composite pluton, Central Iberian Zone: Constraints from U–Pb zircon geochronology, AMS data and Sr–Nd–O isotope geochemistry", Lithos., 162-163, (2013) 221-235.

۲۰. شیبی مریم، "تغییرات الگوهای فابریک مغناطیسی تودههای نفوذی در طی انواع دگرسانیهای گرمابی"، بیست و سومین همایش بلورشناسی و کانیشناسی ایران، دانشگاه دامغان (۱۳۹۴).

- Borradaile G. J., "Magnetic susceptibility, petrofabric and strain-a review. Tectonophysics", 206 (1988) 203-218
- Bascou J., Henry B., Ménot R. P., Funaki M., Barruol G., "Contribution of AMS measurements in understanding the migmatitic terrains of Pointe Géologie, Terre Adélie (East-Antarctica", Tectonophysics, 603 (2013) 123-135.

۲۳. شکاری سکینه، "پترولوژی و ژئوشیمی مجموعه دگرگونی-آذرین شترکوه"، رسالهٔ دکترا، دانشکدهٔ علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود (۱۳۹۷).