

سازوکار جایگیری توده گرانیوییدی پنج کوه با استفاده از روش فابریک مغناطیسی

مریم شبیبی^{۱*} و مهدخت پورعلیزاده مقدم^۲

^۱ استادیار، دانشکده زمین‌شناسی، دانشگاه شاهرود، شاهرود، ایران
^۲ کارشناسی ارشد، دانشکده زمین‌شناسی، دانشگاه شاهرود، شاهرود، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۰۸/۲۷ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۱۱/۰۱

چکیده

در جنوب خاور دامغان، توده گرانیوییدی پنج کوه با وسعت ۱۵ کیلومتر مربع به درون توالی آتشفشانی - رسوبی ائوسن نفوذ کرده است. ترکیب چیره این توده سینیت است که تحت تأثیر فرایندهای حاصل از دگرسانی سدیک - کلسیک به مونزونیت تبدیل شده‌اند. حضور رگه‌های آلپیت - اسکاپولیت با سترای متفاوت (از میلی‌متر تا چند صد متر) مهم‌ترین نشانه حضور این نوع دگرسانی در توده مورد مطالعه است. در این پژوهش نتایج حاصل از مطالعات فابریک مغناطیسی مورد بررسی قرار گرفته و بر پایه الگوهای خطواری و برگراری مغناطیسی و همچنین مطالعات ریزساختی، سازوکار جایگیری توده نفوذی پنج کوه تعیین شده است. این توده به دلیل دارا بودن پذیرفتاری مغناطیسی میانگین به نسبت بالا ($K_m > 40 \mu\text{SI}$) و حضور مگنتیت در رده گرانیویدهای فرومغناطیس قرار می‌گیرد. بیشترین مقادیر ناهمسانگردی نیز در نواحی با دگرشکلی بالا دیده شده است. خطواری و برگراری با شیب زیاد و پارامتر شکل منفی، محل اصلی تغذیه ماگمای سازنده این توده را نشان می‌دهند. بر پایه مطالعات انجام گرفته به نظر می‌رسد که توده دارای دو الگوی فابریک مغناطیسی متفاوت است. الگوی اول متعلق به الگوی خطواری‌ها و برگراری‌های ماگمایی است که با یکدیگر همخوانی داشته و به صورت موازی با محور طولی توده در راستای شمال خاور - جنوب باختر امتداد یافته‌اند. الگوی دوم مرتبط با مناطق متأثر از دگرسانی سدیک - کلسیک بوده که موازی با یکدیگر در امتداد راهروهای، الگوی فابریک مرحله اول را قطع کرده‌اند. این موضوع با استفاده از شواهد ریزساختی دیده شده که شامل انواع فابریک‌های ماگمایی تا حالت جامد دمای پایین است به خوبی تأیید می‌شود. همه شواهد به دست آمده نشان از آن دارد که توده گرانیوییدی نام برده در یک پهنه برشی شکل‌پذیر و از نوع چپ‌لغز جایگیری کرده است.

کلیدواژه‌ها: ناهمسانگردی پذیرفتاری مغناطیسی، سازوکار جایگیری، توده گرانیوییدی پنج کوه، دامغان.

نویسنده مسئول: مریم شبیبی

E-mail: sheibi@shahroodut.ac.ir

۱- پیش‌نوشتار

خاور شهر دامغان (استان سمنان) قرار دارد (شکل ۱- الف). منطقه پنج کوه بخشی از برکه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ (معد (اقليمی، ۱۳۷۹) است و در شمالی‌ترین بخش از پهنه ایران مرکزی جای دارد. ایران مرکزی در دوران سنوزویک به‌ویژه دوره ائوسن فعالیت ماگمایی شدیدی را پشت سر گذاشته و انواع سنگ‌های آتشفشانی و توده‌های نفوذی با سن پس از ائوسن در آن دیده می‌شود (هوشمندزاده و همکاران، ۱۳۵۷). توده گرانیوییدی پنج کوه با ترکیب چیره سینیت به درون توالی آتشفشانی - رسوبی ائوسن نفوذ کرده (شکل ۲- الف) و موجب کانه‌زایی آهن در سنگ‌های میزبان آندزیتی شده است. در تصاویر ماهواره‌ای، این توده در امتداد شمال خاور - جنوب باختر طویل شده و از حاشیه‌های خاوری و باختری توسط واحدهای آتشفشانی ائوسن در بر گرفته شده است. شبیبی (۱۳۸۳) ترکیب اولیه این توده را سینیتی می‌داند که ابتدا به واسطه فرایند تفریق ماگمایی از پیروکسن سینیت در حاشیه به بیوتیت سینیت در بخش‌های مرکزی توده تغییر یافته و سپس در مراحل پایانی سرد شدن دستخوش دگرسانی‌های گسترده سدیک - کلسیک شده است. این دگرسانی‌ها تغییرات کانی‌شناسی و بافتی خاصی را در سنگ‌های ماگمایی به وجود آورده است. شواهد سنگ‌نگاری و ژئوشیمیایی این نوع دگرسانی در (Sheibi 2014) به‌طور کامل آورده شده است.

به‌طور کلی، واحدهای سنگی توده مورد مطالعه از دید ماکروسکوپی، تمام‌بلورین و دانه‌متوسط هستند و رنگ آنها از سفید تا خاکستری تغییر می‌کند. بر پایه مطالعات دقیق سنگ‌نگاری مشخص شده است که پیروکسن سینیت‌ها بیشتر بخش‌های حاشیه توده نفوذی را به خود اختصاص می‌دهند و از کانی‌های پلاژیو کلاز، آلکالی‌فلدسپار و بلورهای تخته‌ای پیروکسن کاملاً خودشکل تشکیل شده‌اند. پیروکسن‌ها ادخال‌های فراوانی از آپاتیت، اسفن و مگنتیت‌های خودشکل دارند. بیوتیت سینیت‌ها در مقایسه با پیروکسن سینیت‌ها در بخش‌های مرکزی‌تر توده رخنمون یافته‌اند و در نمونه دستی دارای بیوتیت‌های صفحه‌ای فراوان و ارتوکلازهای درشت هستند که چهره

امروزه مطالعات ساختاری در سنگ‌های گرانیوییدی با استفاده از روش ناهمسانگردی پذیرفتاری مغناطیسی (AMS) انجام می‌گیرد (Borradaile & Henry, 1997). این روش، الگوهای کرنش را در مقیاس ناحیه‌ای و در سنگ‌هایی که فابریک آنها به سختی قابل تشخیص است به‌طور دقیق و با صرف زمان کوتاهی نمایان می‌سازد. در این پژوهش تلاش می‌شود سازوکار جایگیری توده نفوذی پنج کوه با استفاده از فابریک‌های مغناطیسی حاصل از روش ناهمسانگردی پذیرفتاری مغناطیسی و مطالعات ریزساختاری بررسی شود. بیشتر مطالعات انجام گرفته پیشین در این منطقه برای بررسی ویژگی‌های سنگ‌شناسی، ژئوشیمیایی و کانه‌زایی موجود صورت گرفته است. از این رو بررسی سازوکار جایگیری و فابریک‌های مغناطیسی در توده نفوذی پنج کوه پژوهشی جدید در زمینه تعیین الگوی درونی توده و زمین‌ساخت حاکم بر منطقه به شمار می‌رود. بنابراین انجام این پژوهش روی توده نفوذی یادشده، به منظور شناخت چگونگی جایگزینی و احتمالاً پتروژنز کانسار آهن موجود در منطقه، مفید و ضروری است و مهم‌ترین هدف آن به شمار می‌رود. همچنین از آنجا که سنگ‌های این توده نفوذی دستخوش فرایندهای دگرسانی گرمایی شده و الگوهای فابریک آنها همگام با تحولات کانی‌شناسی و بافتی تغییر کرده است، پس از بررسی ساخت‌ها و الگوهای برگراری و خطواری حاصل از جریان ماگمایی، جزئیات حاصل از تأثیر دگرسانی در توسعه الگوی فابریک بررسی می‌شود. در این راستا همه برداشت‌های صحرائی، مطالعات دقیق سنگ‌نگاری و ریزساختی و دیگر متغیرهای به دست آمده از روش AMS تلفیق شده است تا بر پایه هندسه و ساخت‌های موجود مدلی برای چگونگی جایگیری توده نفوذی مورد مطالعه به دست آید.

۲- زمین‌شناسی عمومی و سنگ‌شناسی توده گرانیوییدی پنج کوه

توده گرانیوییدی پنج کوه با گسترش ۱۵ کیلومتر مربع، در موقعیت جغرافیایی $22^{\circ} 54'$ تا $22^{\circ} 54'$ طول خاوری و $35^{\circ} 45'$ تا $35^{\circ} 52'$ عرض شمالی و در جنوب

۴- متغیرهای مورد استفاده در مطالعات فابریک مغناطیسی و پردازش آنها

داده‌های AMS از یک نمونه به‌طور قرار دادی به‌صورت یک بیضوی سه‌محوری بیان می‌شود که محوره‌های بزرگ، میانه و کوچک آن به ترتیب با سو و بزرگای پذیرفتاری مغناطیسی بیشینه (K_{max})، حدواسط (K_{int}) و کمینه (K_{min}) همخوانی دارد. در بیشتر موارد (مانند بلورهای بیوتیت) سوی میل K_{min} با میل قطب بر گوارگی مغناطیسی (سطح دربردارنده محوره‌های K_{max} و K_{int}) منطبق است. محور K_{max} با بعد کشیده بلورها و محور K_{min} با بعد کوتاه بلورها همخوانی دارد. از این رو برای جمع‌آوری از ذرات فرومغناطیس، K_{max} و K_{min} به ترتیب خطوارگی و بر گوارگی مغناطیسی را تعریف می‌کنند (Bouchez, 1997). در این محبت داده‌های حاصل از مطالعات فابریک مغناطیسی توده نفوذی مورد مطالعه به ترتیب معرفی و سپس تفسیر می‌شوند. این نتایج در جدول ۱ ارائه شده است.

۴-۱. پذیرفتاری مغناطیسی میانگین (K_m)

متغیر K_m که بر پایه رابطه زیر تعریف می‌شود پذیرفتاری مغناطیسی میانگین بوده و نتایج مهم و ارزشمندی درباره ماهیت مغناطیسی گرانیوتیویدها در اختیار قرار می‌دهد.

$$K_m = \frac{(K_1 + K_2 + K_3)}{3} \quad (1)$$

به‌طور کلی، بزرگای پذیرفتاری مغناطیسی میانگین (K_m) در نمونه‌های مورد مطالعه میان ۵۰۰ تا ۸۰۰۰۰ μSI تغییر می‌کند. مقدار میانگین این متغیر برای پیروکسن‌سینیت‌ها، بیوتیت‌سینیت‌ها و مونزونیت‌ها به ترتیب ۲۸۵۴۲، ۵۶۲۳۹ و ۲۱۷۳ μSI است (جدول ۱ و شکل‌های ۳- الف و ت). این توده به دلیل داشتن پذیرفتاری مغناطیسی میانگین به‌نسبت بالا ($K_m > 400 \mu\text{SI}$) و حضور مگنتیت در رده گرانیوتیویدهای فرومغناطیس قرار می‌گیرد (Bouchez, 1997). اگر چه در گرانیوتیویدهای پارامغناطیس، سیلیکات‌های آهن‌دار همانند بیوتیت و مسکوویت اصلی‌ترین کانی‌های دربردارنده آهن و عامل ایجاد پذیرفتاری مغناطیسی در سنگ هستند و در نتیجه انطباق خوبی میان پذیرفتاری مغناطیسی و نوع سنگ در این نوع گرانیوتیوید وجود دارد (Aydin et al., 2007; Sheibi et al., 2012) اما در گرانیوتیوید فرومغناطیس پنج‌کوه نیز این رابطه به خوبی با مقایسه نقشه‌های سنگ‌نگاری و بزرگای پذیرفتاری مغناطیسی (شکل‌های ۱- ب و ۳- الف) دیده می‌شود. در واقع در انواع سنگ‌های سینیتی موجود، کانی فرومغناطیس مگنتیت به همراه کانی‌های پارامغناطیس پیروکسن و بیوتیت، مهم‌ترین حامل‌های فابریک مغناطیسی هستند. لازم به توضیح است که بزرگای پذیرفتاری مغناطیسی بیوتیت و پیروکسن به ترتیب ۱ تا ۳ μSI و ۰/۰۵ تا ۵ μSI است (Rochette et al., 1992). مقایسه نقشه تغییرات Km و مطالعات دقیق سنگ‌نگاری سنگ‌های سالم و دگرسان شده در این پژوهش نشان می‌دهد که در گرانیوتیویدهای فرومغناطیسی مانند توده نفوذی پنج‌کوه بزرگای پذیرفتاری مغناطیسی کل، عکس روند تفریق ژئوشیمیایی رفتار و بر حسب ماهیت کانیایی سنگ‌ها تغییر می‌کند. همچنین در نمونه‌های مونزونیتی که حاصل از عملکرد فرایند دگرسانی سدیک-کلسیک روی سینیت‌ها هستند کانی مگنتیت از دید اندازه کوچک و یا به‌طور کامل حذف شده است. این امر سبب کاهش شدیدی در بزرگای پذیرفتاری مغناطیسی شده است (شکل‌های ۱- ب و ۳- الف و ت).

۴-۲. درصد ناهمسانگردی (P%)

متغیر P یا درجه ناهمسانگردی کل که رابطه میان بیشینه و کمینه مقدار پذیرفتاری مغناطیسی را بیان می‌دارد به‌صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$P\% = \left[\left(\frac{K_1}{K_3} \right) - 1 \right] \times 100 \quad (2)$$

از این فاکتور به منظور تشخیص جریان ماگمایی و تغییر شکل حالت جامد استفاده می‌شود (Saint-Blanquat et al., 2001; Tikoff & Saint-Blanquat, 1997). به‌طور کلی، مقدار P به دست آمده در توده گرانیوتیویدی پنج‌کوه میان ۱ تا ۱/۵ درصد تغییر می‌کند. همان‌طور که در نقشه هم‌میزان این متغیر نیز نشان داده شده

پورفرویدی به این سنگ‌ها می‌بخشد. در بیشتر مقاطع میکروسکوپی، بیوتیت‌های صفحه‌ای و درشت ماگمایی با چندرنگی قهوه‌ای در پیرامون هسته‌های پیروکسنی رشد کرده‌اند و ادخال‌های فراوانی از آپاتیت و مگنتیت خودشکل دارند. در این سنگ‌ها درصد پیروکسن و پلاژیوکلاز به شدت کاهش یافته و بر مقدار ارتوکلاز و بیوتیت افزوده شده است. نتایج حاصل از مطالعه شیمی کانی‌ها در این توده نفوذی نشان می‌دهد که بلورهای پلاژیوکلاز، آلکالی‌فلدسپار، بیوتیت، پیروکسن، آپاتیت، اسفن و مگنتیت موجود در نمونه‌های سینیتی سالم و بدون هر گونه دگرسانی، اولیه و کاملاً ماگمایی هستند (Sheibi, 2014). با توجه به اهمیت شناسایی نوع کانی‌های کدر در مطالعات AMS یادآوری می‌شود که حضور مگنتیت در این توده نفوذی با استفاده از داده‌های میکروپروب اثبات شده است. این کانی در مقاطع نازک نمونه‌های سالم به‌صورت ادخال‌های مکعبی شکل و یا زاویه قائم درون پیروکسن و بیوتیت قرار دارد ولی در سنگ‌های حاصل از دگرسانی سدیک-کلسیک اندازه آن کوچک و یا به‌طور کامل حذف شده است.

در اثر اعمال نیروهای زمین‌ساختی، این توده دچار درزها و شکستگی‌های فراوانی شده است که مسیر مناسبی را برای عبور سیال‌های گرمایی فراهم و تغییرات کانی‌شناسی و بافتی خاصی را درون توده ایجاد کرده است. مهم‌ترین تغییرات حاصل از دگرسانی سدیک-کلسیک در این توده با حضور رگه و رگچه‌های آلپیت-اسکاپولیت از مقیاس میلی‌متری در مقاطع نازک میکروسکوپی تا غلاف سفید رنگ یا سبزی چندصد متر در پیرامون کانسار آهن موجود مشخص می‌شود (شکل ۲- ب). در مطالعات صحرائی، این رگه و رگچه‌ها دارای رنگ سفید تا مایل به سبز روشن هستند و با عرض متفاوت در سراسر توده نفوذی پراکنده شده‌اند. همچنین نمونه‌های سینیتی که در معرض این نوع دگرسانی قرار گرفته‌اند ظاهری سفید رنگ و آبشویی شده دارند و در آنها بر حسب شدت دگرسانی، کانی‌های پلاژیوکلاز به اسکاپولیت و آلپیت تبدیل و مگنتیت به‌طور بخشی یا کامل حذف شده است. این امر موجب تبدیل سنگ‌های ماگمایی اولیه با ترکیب کلی سینیت به مونزونیت شده است. شکل ۱- ب نقشه سنگ‌نگاری و پراکندگی واحدهای سنگی مختلف اعم از ماگمایی و انواع دگرسان شده را در توده نفوذی پنج‌کوه نشان می‌دهد.

۳- روش مطالعه

مطالعه فابریک‌های مغناطیسی در گرانیوتیوید پنج‌کوه بر پایه یک نمونه‌برداری سیستماتیک از بخش‌های مختلف توده انجام شده است. در این روش ابتدا موقعیت جغرافیایی هر ایستگاه با استفاده از GPS مشخص و پس از برداشت و ثبت مشاهدات صحرائی، دست کم ۲ و بیشینه ۴ مغزه استوانه‌ای با طول تقریبی ۱۰ سانتی‌متر به کمک دستگاه حفاری قابل حمل برداشت شده است. لازم به توضیح است که میزان میل و سوی میل هر کدام از این مغزه‌ها با استفاده از کمپاس و صفحه تراز، اندازه‌گیری می‌شود. برای مطالعه بیشتر از اصول و مراحل خاص تهیه این مغزه‌ها در صحرا به (Bouchez & Shibi, 1997) مراجعه شود. پس از نمونه‌برداری صحرائی و حفاری از کل توده نفوذی مورد مطالعه، مغزه‌های به دست آمده به کارگاه تهیه مقطع دانشگاه صنعتی شاهرود انتقال یافت و هر مغزه به قطعاتی با طول ۲۱ میلی‌متر برش داده شد. در این مطالعه از مجموع کل مغزه‌های حفاری شده از ۴۱ ایستگاه، ۲۶۲ قطعه به دست آمده است. ناهمسانگردی پذیرفتاری مغناطیسی هر کدام از این قطعات نیز با استفاده از دستگاه Kappaberid (MFK1-FA) ساخت شرکت آجیکو (AGICO) از کشور چک در آزمایشگاه ژئومغناطیس دانشگاه صنعتی شاهرود در یک میدان مغناطیسی پایین ($200 H_2$) و پذیرفتاری مغناطیسی با دقت 10^{-8} SI اندازه‌گیری شد. افزون بر این، ۴۱ مقطع نازک از بخش پایانی یکی از مغزه‌های هر ایستگاه تهیه و از دید سنگ‌نگاری و ریزساختی مورد مطالعه قرار گرفت. شکل ۱- ب موقعیت ایستگاه‌های نمونه‌برداری شده را نشان می‌دهد.

موجود در سنگ مرتبط است و متناسب با جهات جریان، مسیرهای عبور ماگما و تارپخچه کرنش در سنگ، تغییر خواهند کرد (Borradaile & Henry, 1997).

۵- الگوی فابریک مغناطیسی

شکل های ۴- الف و ب به ترتیب نقشه های خطوارگی و برگوارگی مغناطیسی توده نفوذی پنج کوه را نشان می دهند. به طور کلی در گوشه شمال خاور توده، خطوارگی ها دارای روند شمال باختر- جنوب خاور بوده و میل کمی دارند (شکل ۴- الف). برگوارگی های مغناطیسی نیز بیشتر به موازات کشیدگی و حاشیه های توده است و به سوی خاور یا باختر شیب زیادی دارند (شکل ۴- ب). در بیشتر بخش های حاشیه جنوب- جنوب باختر توده، الگوی خطوارگی میل بسیار بالایی دارد (بیشتر از ۶۰ درجه) و برگوارگی نیز این حاشیه ها را با شیب نزدیک به قائم قطع می کنند. در واقع این ایستگاه ها معرف مناطق تغذیه کننده اصلی ماگما هستند، زیرا هنگامی که ماگما به صورت قائم بالا می آید شیب خطواره ها نیز افزایش می یابد (Bouchez, 1997). در بخش های مرکزی توده بیشتر خطوارگی ها دارای روند شمال خاور- جنوب باختر هستند و میل کمی دارند. وضعیت مشابهی برای امتداد برگوارگی های مغناطیسی در این مناطق وجود دارد ولی در مجموع شیب متغیری دارند. با نگاهی دقیق به این دو نقشه، می توان ایستگاه هایی را دید که در امتداد راهروهای الگوهای خطوارگی مغناطیسی اصلی توده را قطع می کند. این ناپیوستگی برای امتداد برگوارگی نیز صادق است و از دید سنگ نگاری با انواع سنگ های مونزونیتی و رگه های آلیت- اسکاوپولیت که حاصل از دگرسانی سدیک- کلسیک هستند همخوانی دارد.

۶- ریزساخت

همزمان یا کمی پس از تبلور ماگما، بر حسب کرنش حاکم بر منطقه، ممکن است یک تا سه نوع فابریک ماگمایی، ساب ماگمایی و ساب سالییدوس (دمای بالا، متوسط و پایین) در توده های نفوذی تشکیل شوند (Bouchez et al., 1992). بر پایه مطالعات دقیق ریزساختی مشخص شد که تقریباً یک چهارم ایستگاه های نمونه برداری شده در توده نفوذی پنج کوه دارای ریزساخت های کاملاً ماگمایی هستند و در آنها بلورهای پلاژیوکلاز و پیروکسن خودشکل تا نیمه شکل دار، ارتوکلاز پرتیتی و بیوتیت های بدون تغییر شکل دیده می شود (شکل های ۵- الف و ب). فابریک ساب ماگمایی نیز در شماری دیگر از ایستگاه ها به دلیل پرشدگی شکستگی های موجود در پلاژیوکلازها از کوآرتز \pm فلدسپار قلیایی قابل شناسایی است (شکل ۵- پ). ریزساخت های حالت جامد دمای بالا، با بلورهای تاب خورده و دارای کینک باند بیوتیت در سنگ های تغییر شکل یافته مشخص می شود (شکل ۵- ت). در مقاطع میکروسکوپی این ایستگاه ها، پلاژیوکلازها دارای حاشیه های گسیخته هستند و ماکل های تکراری آنها دچار خمیدگی شده است (شکل ۵- ت). افزون بر این، تبدیل شدن پلاژیوکلاز به آلیت و اسکاوپولیت، تجزیه بیوتیت به کلریت و اسفن های ثانویه در سنگ های مونزونیتی نشان از دگرشکلی ساب سالییدوس دمای بالا در حضور سیال های داغ است.

ریزساخت های میکروسکوپی دمای پایین بیشتر در ایستگاه های شمال خاور توده و در حوالی مرکز توده گرانیتویدی پنج کوه که دچار دگرشکلی بیشتری شده و به شدت میلوئیتی گردیده اند، دیده می شود. میلوئیت ها سنگ هایی هستند که غالباً به وسیله تغییر شکل خمیری زیاد در پهنه های با جریان غیر هم محور شدید رخ می دهند (Bell & Etheridge, 1973). خیلی از میلوئیت ها دارای پورفیر و کلاست هایی هستند که اندازه بزرگ تری از مواد زمینه دارند. این نوع کانی ها الگوهای جهت گیری مختلف را بسته به شدت کرنش تحمل شده نشان می دهند (Pennacchioni et al., 2001; Ten Grotenhuis et al., 2002). این نوع از میلوئیت ها دارای کانی های ماهی شکل هستند که در اثر دو نوع برگوارگی به صورت

است (شکل ۳- ب) بالاترین مقادیر P% در نیمه جنوبی، برخی از ایستگاه های موجود در حاشیه باختری و شمال خاور توده به چشم می خورد. از آنجا که ناهمسانگردی مغناطیسی، درجه شدت فابریک و کرنش منطقه را نشان می دهد (Bouchez, 1997) به نظر می رسد این نواحی در اثر تحمل دگرشکلی و هوازدگی شدید بخش مهمی از کانی های مگنتیت خود را از دست داده اند. در واقع بیشتر این ایستگاه ها به نمونه های دگرسان شده و انواع مونزونیتی تعلق دارند. در نمودار Km در برابر P% (شکل ۳- ث) بیشترین طیف تغییرات در مقادیر درجه ناهمسانگردی در نمونه های مونزونیتی دیده می شود و در بقیه نمونه ها که ظاهراً سالم تر هستند مقدار P% با افزایش بزرگای پذیرفتاری مغناطیسی ثابت می ماند.

اصول روش AMS سنگ های گرانیتی بر این مبنا بنا نهاده شده است که فابریک های مغناطیسی حاصل از این روش موازی با جهت یابی ترجیحی شکل دانه های مگنتیت است (Archanjo et al., 1995; Bouchez, 1997; Gregoire et al., 1998) که خود این کانی نیز در جریان ماگمایی هم راستا با کانی های بیوتیت و پیروکسن قرار دارد (Benn et al., 1993; Archanjo et al., 1995). از این رو، رابطه مستقیمی میان فابریک مغناطیسی و فابریک شکل دانه مگنتیت وجود دارد (Gregoire et al., 1998). از سوی دیگر بر پایه روش های کانی شناسی مغناطیسی همانند مغناطیس زدایی حرارتی و مغناطیس پسماند مشخص شده است که در توده های گرانیتویدی اندازه مگنتیت از چندده میکرون تا ۱ یا ۲ میلی متر تغییر می کند. اندازه درشت مگنتیت موجب می شود که این کانی در گرانیت ها رفتار چند حوزه ای از خود بروز دهند و چنانچه فاصله میان دانه ها از دو برابر فاصله مراکز آنها کمتر باشد با یکدیگر برهمکنش کنند (Bouchez et al., 1992). در مواردی که درجه ناهمسانگردی همگام با Km افزایش می یابد (مانند ایستگاه ۳۸، شکل ۳- ث) نمی توان افزایش مقدار P را با بزرگای فابریک شکل مگنتیت توضیح داد. به نظر می رسد که ادخال های مگنتیت درون سیلیکات هایی مانند کلیئوپریکسن ممکن است در صف بندی ترجیحی آنها تأثیر داشته باشد و از این رو موجب افزایش بزرگی پذیرفتاری مغناطیسی به موازات خطوارگی شده است.

۴-۳. متغیر شکل (T)

متغیر T که به آن فاکتور شکل و همچنین متغیر پلینک نیز گفته می شود برابر است با:

$$T = \ln [K_2 / (K_1 / K_3)] / \ln [K_1 / K_3] \quad (3)$$

این متغیر شکل بیضوی مغناطیسی را توصیف می کند و نظم بلورهای فرومغناطیس را در هنگام جایگیری یک توده ماگمایی، رشد بلوری یا آرایش دوباره آنها در یک میدان تنش را نشان می دهد (Ellwood, 1978). چنانچه مقدار این متغیر مثبت و بزرگ تر از صفر باشد اولاً بیضوی مغناطیسی صفحه ای (Oblate) است و ثانیاً روابط زیر وجود دارد:

$$K_1 = K_2 > K_3 \text{ و } -1 \leq T < 0$$

مقادیر منفی نیز نشان دهنده بیضوی مغناطیسی خطی (Prolate) هستند و در این وضعیت (Lanza & Meloni, 2006):

$$K_1 = K_3 > K_2 \text{ و } 0 < T \leq 1$$

مقادیر متغیر T محاسبه شده برای توده گرانیتویدی پنج کوه از ۰/۴۸ تا ۰/۹۳+ تغییر می کند (شکل ۳- پ). با توجه به نقشه منحنی های میزان مقادیر T، شکل بیضوی مغناطیسی در بیشتر بخش های توده به جز حاشیه جنوب باختر مثبت و کلوچه ای شکل است. شکل ۳- ج درصد ناهمسانگردی در برابر متغیر شکل را نشان می دهد که در آن ایستگاه های مونزونیتی دارای طیف وسیع تری از P% و T هستند. به نظر می رسد علت این امر می تواند کوچک شدن دانه های مگنتیت و به هم ریختگی شکل آنها و یا چگونگی قرارگیری آنها در اثر فرایند دگرسانی سدیک- کلسیک باشد. در مطالعات مغناطیسی واحدهای سنگی مختلف دیگر نیز اثبات شده است که چگونه فابریک مغناطیسی با ناهمگنی امتداد شکل دانه و جهت گیری بلورشناسی کانی های

آزیموت و پلانج با مشخصات $245^{\circ}/16^{\circ}$ است (شکل ۷-ب). روند و میل بهترین قطب بر گوارگی نیز دارای مشخصات $162^{\circ}/64^{\circ}$ است. بیشتر ایستگاه‌های واقع در این زیرقلمرو از ریزساخت‌های ساب‌ماگمایی تشکیل شده‌اند. میانگین پذیرفتاری مغناطیسی آنها نیز بالاست ($28497 \mu SI$). میانگین ناهمسانگردی مغناطیسی ۵ درصد و متغیر شکل ایستگاه‌ها نیز بیشتر صفحه‌ای، با میانگین $0/23$ است.

• **A₂ (پهنه تغذیه):** این زیر قلمرو شامل ۱۴ ایستگاه با ترکیب چیره مونزونیتی دارای ریزساخت‌های ماگمایی تا کمی حالت جامد دمای بالاست. روند خطوارگی مغناطیسی شمال خاور- جنوب باختر است و میل آنها از باختر به خاور نیز کاهش می‌یابد. روند و میل بهترین قطب بر گوارگی نیز $217^{\circ}/13^{\circ}$ است (شکل ۷-ب). حضور خطوارگی و بر گوارگی مغناطیسی با شیب زیاد، به ویژه در جنوب و جنوب باختر این زیرقلمرو معرف پهنه تغذیه‌کننده اصلی در این توده است. میانگین پذیرفتاری مغناطیسی در ایستگاه‌های موجود $28045 \mu SI$ است که در میان دیگر قلمروها بیشترین مقدار است. به‌طور کلی میانگین ناهمسانگردی مغناطیسی در این قلمرو در حدود ۳ درصد و مقدار آن همگام با افزایش دگرشکلی از خاور به باختر این زیرقلمرو افزایش یافته است. لازم به توضیح است که بیشترین ناهمسانگردی مغناطیسی در این توده در ایستگاه ۳۸ این قلمرو دیده می‌شود که پیش‌تر در مبحث متغیر P% به آن اشاره و علت آن توضیح داده شده است. متغیر شکل نیز میان $0/49$ تا $0/93$ تغییر می‌کند.

• **A₃:** این زیرقلمرو شامل ۳ ایستگاه با ترکیب چیره مونزونیتی است که روند خطواره‌های آن به سوی شمال خاور- جنوب باختر است و روند قطب بر گواره‌ها دارای مشخصات $82^{\circ}/7^{\circ}$ به‌طور قائم حاشیه جنوبی توده را قطع کرده است (شکل ۷-ب). بیشتر ریزساخت‌ها در این زیرقلمرو ساب‌ماگمایی و میانگین پذیرفتاری مغناطیسی ایستگاه‌های موجود در آنها $17054 \mu SI$ است. این زیرقلمرو بیشترین میانگین ناهمسانگردی (۱۴ درصد) را نسبت به قلمروهای دیگر دارد. متغیر شکل نیز در همه ایستگاه‌ها صفحه‌ای و دارای میانگین $0/52$ است.

- **قلمرو B:** اگر چه در صحرا مرز مشخصی میان دو قلمرو A و B دیده نشده است اما پس از بررسی‌های دقیق مطالعات سنگ‌نگاری و همچنین نتایج به دست آمده از فابریک مغناطیسی مشخص شد که سه زیرقلمرو B_1 ، B_2 و B_3 دارای آزیموت و پلانج خطوارگی و بر گوارگی مشابهی بوده و در میان زیر قلمروهای A_1 ، A_2 و A_3 پراکنده شده‌اند (شکل ۷-ب). این سه زیرقلمرو توده اصلی را به‌طور عرضی قطع کرده‌اند. به‌طور کلی قلمرو B، ۱۶ ایستگاه را در بر می‌گیرد و پهنه‌های برشی فرعی توده گرانیتوبیدی پنج‌کوه را تشکیل می‌دهد. روند اصلی خطواره‌ها در این قلمرو شمال باختر- جنوب خاور و میل آنها به‌طور چیره کم و تقریباً افقی است. روند و میل قطب بر گوارگی‌های مغناطیسی نیز دارای مشخصات $68^{\circ}/14^{\circ}$ است. در مجموع این قلمرو ترکیب مونزونیتی و نسبت به قلمرو A میانگین پذیرفتاری مغناطیسی کمتری دارد ($20778 \mu SI$). بیشتر ایستگاه‌های موجود در آن دچار ریزساخت‌های حالت جامد دمای بالا شده‌اند. این قلمرو نسبت به قلمرو A دارای ناهمسانگردی مغناطیسی بالا و با میانگین ۷ درصد است. متغیر شکل نیز با میانگین $0/25$ از مقدار $0/27$ تا $0/67$ در این قلمرو تغییر می‌کند.

• **B₁:** این زیرقلمرو با در برداشتن ۱۰ ایستگاه با ترکیب چیره مونزونیتی بیشترین ارتفاعات را در شمال خاور توده تشکیل می‌دهد. بیشتر خطواره‌های آن افقی هستند و روند آنها به سوی شمال باختر- جنوب خاور است. قطب بر گواره‌ها نیز دارای روند و میل $6^{\circ}/81^{\circ}$ است (شکل ۷-ب). این زیرقلمرو کمترین مقادیر پذیرفتاری مغناطیسی با میانگین $16651 \mu SI$ را دارد. برخلاف زیرقلمرو مجاور (A_1) بیشتر ریزساخت‌های زیرقلمرو B_1 ، دچار دگرشکلی حالت جامد دمای پایینی شده‌اند. میانگین ناهمسانگردی در این زیرقلمرو ۷ درصد است. متغیر شکل نیز بیشتر از نوع صفحه‌ای بوده و از میانگین $0/27$ برخوردار است.

ساختارهای میلونیتی S-C گسترش یافته‌اند. در سنگ‌های به شدت میلونیتی شده توده نفوذی پنج‌کوه، کانی کلینوپروکسن به‌صورت درشت‌بلور ماهی‌شکل در آمده و در زمینه‌ای از کانی‌های فلدسپار، آلپیت و اسکاپولیت با دانه‌بندی ریز دربر گرفته شده است. نتایج تجزیه نقطه‌ای پیروکسن در این نمونه‌ها نشان می‌دهد که دگرسانی اعمال شده هیچ تأثیری روی ترکیب آنها نداشته اما از دید فیزیکی دچار دگرشکلی شده‌اند (Sheibi, 2014). بر گوارگی حاصل از آنها مورب بوده و با زاویه زیادی بر گوارگی ماگمایی را قطع می‌کنند (شکل‌های ۵-ث و ج). جهت کشیدگی این کانی در یافتن جهت برش موجود در منطقه کمک خواهند کرد. در شکل ۵-ج انواع ساخت‌های میلونیتی S-C در میلونیت‌های موجود در این توده نشان داده شده است. در واقع این میلونیت‌ها همان رگه و رگچه‌های آلپیت- اسکاپولیت حاصل از دگرسانی سدیک-کلسیک فراگیر هستند.

شکل ۶ نقشه پراکنندگی انواع ریزساخت‌های مطالعه شده در توده گرانیتوبیدی پنج‌کوه را نشان می‌دهد که در آن هر سه نوع فابریک ماگمایی، ساب‌ماگمایی و ساب‌سالدوس (نوع دما بالا تا دمای پایین) نشان داده شده است. در یک نگاه کلی می‌توان دریافت که ایستگاه‌های دارای ریزساخت‌های ماگمایی و دگرشکلی جامد دمای بالا، هم‌زمان با جایگیری و تبلور توده نفوذی و ایستگاه‌های با دگرشکلی جامد دمای پایین (میلونیتی) حاصل فعالیت‌های زمین‌ساختی پس از جایگیری توده هستند (یعنی زمانی که توده کاملاً متبلور و سرد بوده است و سنگ‌ها حالت شکننده داشته‌اند).

۷- بحث

۷-۱. پهنه‌بندی توده گرانیتوبیدی پنج‌کوه

با توجه به روند خطوارگی‌ها و امتداد بر گوارگی‌های مغناطیسی و شیب آنها و همچنین با بررسی دیگر متغیرها از جمله مشاهدات صحرایی، سنگ‌نگاری و ریزساختاری، می‌توان توده گرانیتوبیدی پنج‌کوه را به دو قلمرو اصلی A و B تقسیم کرد (شکل ۷-الف). در حالت کلی در قلمرو A بیشتر خطوارگی‌های مغناطیسی دارای امتداد شمال خاور- جنوب باختر هم‌سو با محور طولی توده هستند، در صورتی که در قلمرو B خطوارگی‌ها غالباً دارای روند شمال باختر- جنوب خاور هستند و به موازات عرض توده قرار گرفته‌اند. افزون بر این، بر پایه ویژگی‌های خاص هر یک از قلمروهای A و B، این دو قلمرو نیز به ترتیب به سه زیر قلمرو A_1 ، A_2 و A_3 ، B_1 و B_2 تقسیم می‌شوند.

- **قلمرو A:** قلمرو A با در بر گرفتن ۲۵ ایستگاه بدنه اصلی توده گرانیتوبیدی پنج‌کوه را تشکیل داده و به سه زیر قلمرو A_1 ، A_2 و A_3 تقسیم شده است (شکل ۷-ب). به‌طور کلی، روند خطوارگی و امتداد بر گوارگی‌های مغناطیسی در باختر این قلمرو به موازات حاشیه بوده و در خاور آن را قطع می‌کند (شکل‌های ۴-الف و ب). روند خطواره‌ها در این قلمرو، شمال خاور- جنوب باختر است که میل آنها از شمال خاور زیر قلمرو A_1 به جنوب باختر زیر قلمرو A_3 افزایش می‌یابد (شکل ۷-ب). مشخصات میانگین روند و میل بهترین قطب بر گوارگی در قلمرو A، $104^{\circ}/22^{\circ}$ است (شکل ۷-الف). خطواره‌ها و بر گواره‌های با میل زیاد به‌ویژه در جنوب باختر آن نشان از پهنه تغذیه در این نواحی است (شکل‌های ۴ و ۷). واحد سنگی اصلی در این قلمرو ترکیبی از سینیت‌های سالم تا انواع مونزیت‌های حاصل از دگرسانی سدیک- کلسیک است (شکل ۱-ب). میانگین پذیرفتاری مغناطیسی این ایستگاه‌ها $26889 \mu SI$ است. بیشتر ریزساخت‌های موجود از نوع ماگمایی و ساب‌ماگمایی هستند و میانگین ناهمسانگردی مغناطیسی در آنها ۵ درصد است. متغیر شکل نیز در این قلمرو از $0/49$ (خطی) تا $0/93$ (صفحه‌ای) تغییر می‌کند.

• **A₁:** این زیر قلمرو با ترکیب چیره سینیتی، ۹ ایستگاه را در بر می‌گیرد و با الگوی فابریک کاملاً متفاوت در میان دو زیرقلمرو B_1 و B_2 قرار گرفته است (شکل ۷-ب). خطواره‌های این زیرقلمرو به سوی شمال خاور- جنوب باختر و دارای

در توده نفوذی مهیا کرده و کانسار آهن پنج کوه را در طی دگرسانی پتاسیک در سنگ‌های آتشفشانی مجاور به وجود آورده است.

Castro (1986) بر شدن یک باز شدگی محلی را به عنوان مدل مناسبی برای جایگیری توده‌های نفوذی در نظر گرفته است. مناطق تغذیه کننده ماگما در واقع باز شدگی‌های کششی بوده‌اند که در قاعده پوسته شکننده تشکیل شده و به عنوان کانالی برای عبور ماگما رفتار کرده‌اند. به نظر می‌رسد کشش و باز شدگی موجود در این توده مشابه با مدل باز شدگی Hutton (1982) برای توده نفوذی دونگال است و عامل اصلی در ایجاد این فرایند را می‌توان به یک سامانه برشی ساده نسبت داد که سبب باز شدگی کششی شده و توده با امتداد شمال خاور- جنوب باختر در آن جایگیری کرده است (شکل ۸). شکل توده نفوذی در تصاویر ماهواره‌ای چنین می‌نماید که باز شدگی بر پایه حضور یک نقطه مسدود کننده در امتداد یک گسل بوده و به‌طور پیشرونده همگام با تزریق ماگما گسترش یافته است. زمین‌ساخت منطقه بیش از فرایند جایگیری ماگما در این نوع باز شدگی‌ها تأثیر دارد. از دیدگاه زمین‌شناسی ساختاری، ایجاد و گسترش شکستگی‌های کششی و باز شدگی‌های برشی با زاویه ۴۵ درجه نسبت به راستای پهنه‌های برشی، آسان کننده بالآ آمدگی و جایگیری ماگما در ترازهای سطحی در نظر گرفته شده (مانند شکل‌های ۸- الف و ب) و زاویه خط اتصال دو انتهای توده با راستای برش حداقل ۴۵° درجه است (Castro, 1986). باید توجه داشت که پهنه‌های برشی نقش بنیادین و مهمی در انتقال سیال‌ها در پوسته زمین ایفا می‌کنند و مهاجرت سیال‌ها در میان این ساخت‌ها نسبت به سنگ‌های بدون برش آسان می‌شود (Kehelpannala, 1997). در شکل ۸- پ تحولات ساختاری در ارتباط با ایجاد فضای مناسب برای جایگزینی توده نفوذی گرانیتوئیدی پنج کوه و چگونگی پیدایش دگرشکلی‌های مراحل پایانی جایگیری و پس از تبلور کامل در امتداد پهنه‌های برشی فرعی موجود به‌طور نمادین به نمایش در آمده است.

۸- نتیجه‌گیری

با توجه به اختلافات دیده شده در مقادیر پذیرفتاری مغناطیسی، درجه ناهمسانگردی، وضعیت خطوارگی و برگواری و همچنین مطالعات سنگ‌نگاری و ریزساختی در بخش‌های مختلف توده نفوذی پنج کوه دو الگوی فابریک متفاوت مشخص شد. به نظر می‌رسد توده نفوذی یادشده در هنگام عملکرد پهنه برشی شکل‌پذیر چپ‌لغز جایگیری کرده و انواع ریزساخت‌ها از حالت ماگمایی، ساب‌ماگمایی تا دگرشکلی‌های حالت جامد دمای بالا و پایین را در خود ثبت کرده است. این موضوع همراه با روندهای متفاوت الگوی خطوارگی و برگواری مغناطیسی درون توده نشان می‌دهد که رژیم دگرشکلی در مراحل پایانی تبلور ادامه داشته و انواع درزه‌ها و شکستگی‌ها را در بخش‌های مختلف توده ایجاد کرده است. این شکستگی‌ها که مسیر عبور سیال‌های گرمایی را آسان کرده‌اند رگه‌های آلپیت- اسکا پولیت را تشکیل داده و انواع دگرسانی‌های سدیک- کلسیک را در سنگ‌های ماگمایی اولیه با ترکیب سیینیتی به وجود آورده‌اند.

سپاسگزاری

نویسندگان مقاله از تلاش صمیمانه آقایان نوید آقایی و محسن حمیدی در برداشت صحرائی و کمک‌های دکتر محمود صادقیان در انجام امور آزمایشگاهی سپاسگزاری می‌کنند.

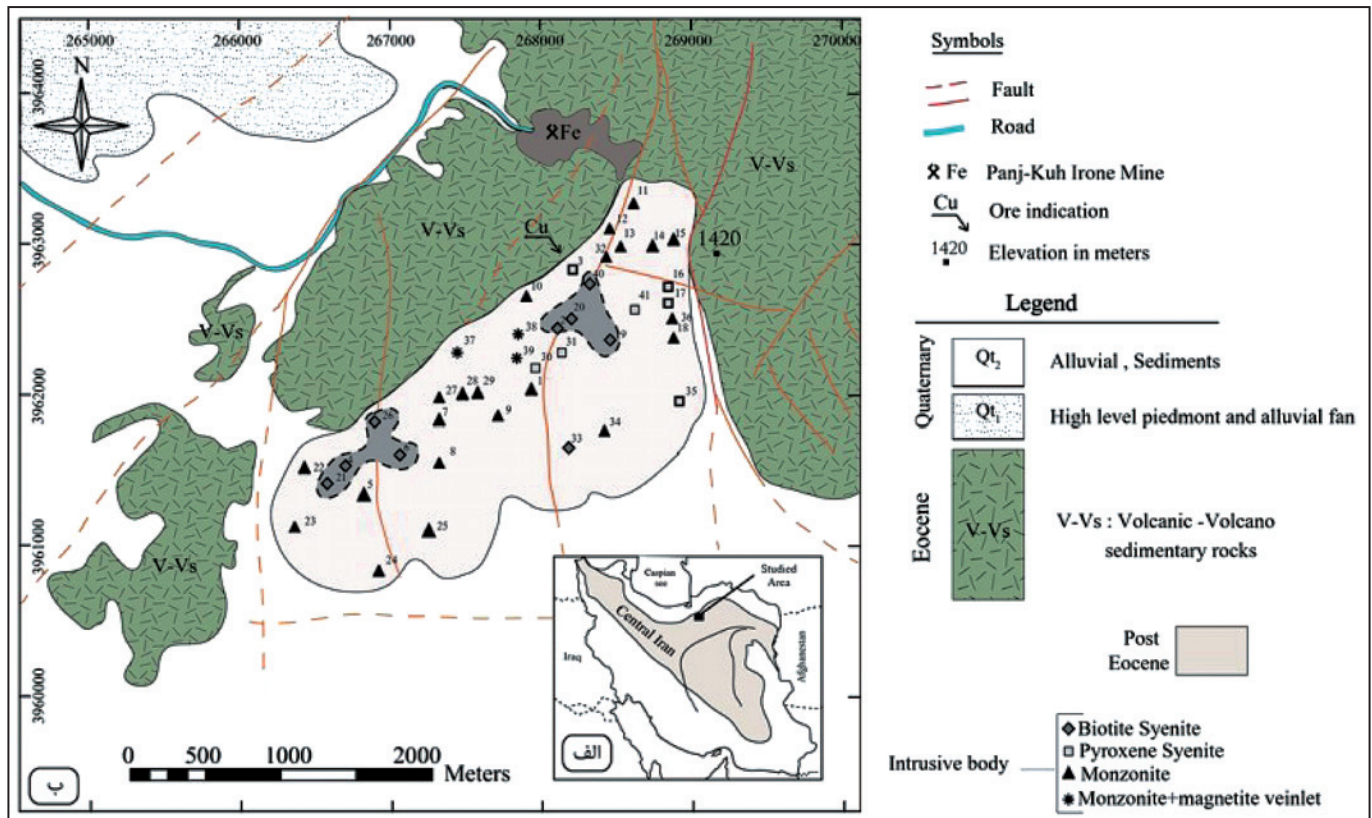
• B_2 : این زیرقلمرو به صورت یک راهروی باریک متشکل از ۳ ایستگاه با ترکیب موزونیتی است. خطواره‌های افقی این زیرقلمرو با روند شمال باختر- جنوب خاور، توده گرانیتوئیدی پنج کوه را به‌طور عرضی قطع کرده است. روند و میل قطب برگواره‌ها در این زیرقلمرو دارای مشخصات $75^\circ/9^\circ$ هستند (شکل ۷- ب). این ایستگاه‌ها میانگین ناهمسانگردی ۴ درصد دارند. میانگین پذیرفتاری مغناطیسی نیز در این زیرقلمرو $23701 \mu SI$ است و متغیر شکل میان $0/37$ - در شمال آن تا $0/38$ درجه در جنوب آن تغییر می‌کند.

• B_3 : این زیرقلمرو نیز با ۳ ایستگاه با ترکیب موزونیتی دارای خطواره‌های افقی با روندی مشابه خطواره‌های زیرقلمرو B_2 (شمال باختر- جنوب خاور) است و روند و میل صفحه برگواره‌های آن مشخصات $270^\circ/36^\circ$ دارد (شکل ۷- ب). ریزساخت‌های موجود از نوع حالت ماگمایی و جامد دمای بالا هستند. میانگین بالای ناهمسانگردی مغناطیسی در این زیرقلمرو ۱۰ و متغیر شکل نیز از میانگین $0/37$ برخوردار است.

۷-۲. الگوی زمین‌ساخت- ماگمایی جایگیری توده گرانیتوئیدی پنج کوه

تاکنون سازوکارهای بسیاری برای جایگیری توده‌های نفوذی ارائه شده است. برخی از آنها شامل تزریق به صورت دیاپیری (Cruden, 1988) بالونینگ یا رشد بادکنکی (Ramsay, 1989)، تزریق دایک گونه (Clemens & Mawer, 1992) و یا دگرشکلی همراه است (Hutton, 1982; Castro, 1986; Hutton et al., 1990). معمولاً در توده‌های نفوذی که به یکی از دو روش یادشده جایگیری می‌کنند (۱) جابه‌جایی عمودی سنگ‌های میزبان، (۲) انکلاوهای پهن شده در حاشیه توده، (۳) الگوی برگواری به موازات حاشیه و (۴) رخنمون دایره‌ای تا بیضی شکل توده دیده می‌شود. با توجه به شکل ظاهری و طولیل شده توده نفوذی مورد نظر و الگوی برگواری و خطوارگی حاصل از فابریک مغناطیسی، امکان جایگیری آن از راه یکی از سازوکارهای بالآ آمدگی دیاپیری یا بالونینگ غیرمحتمل است.

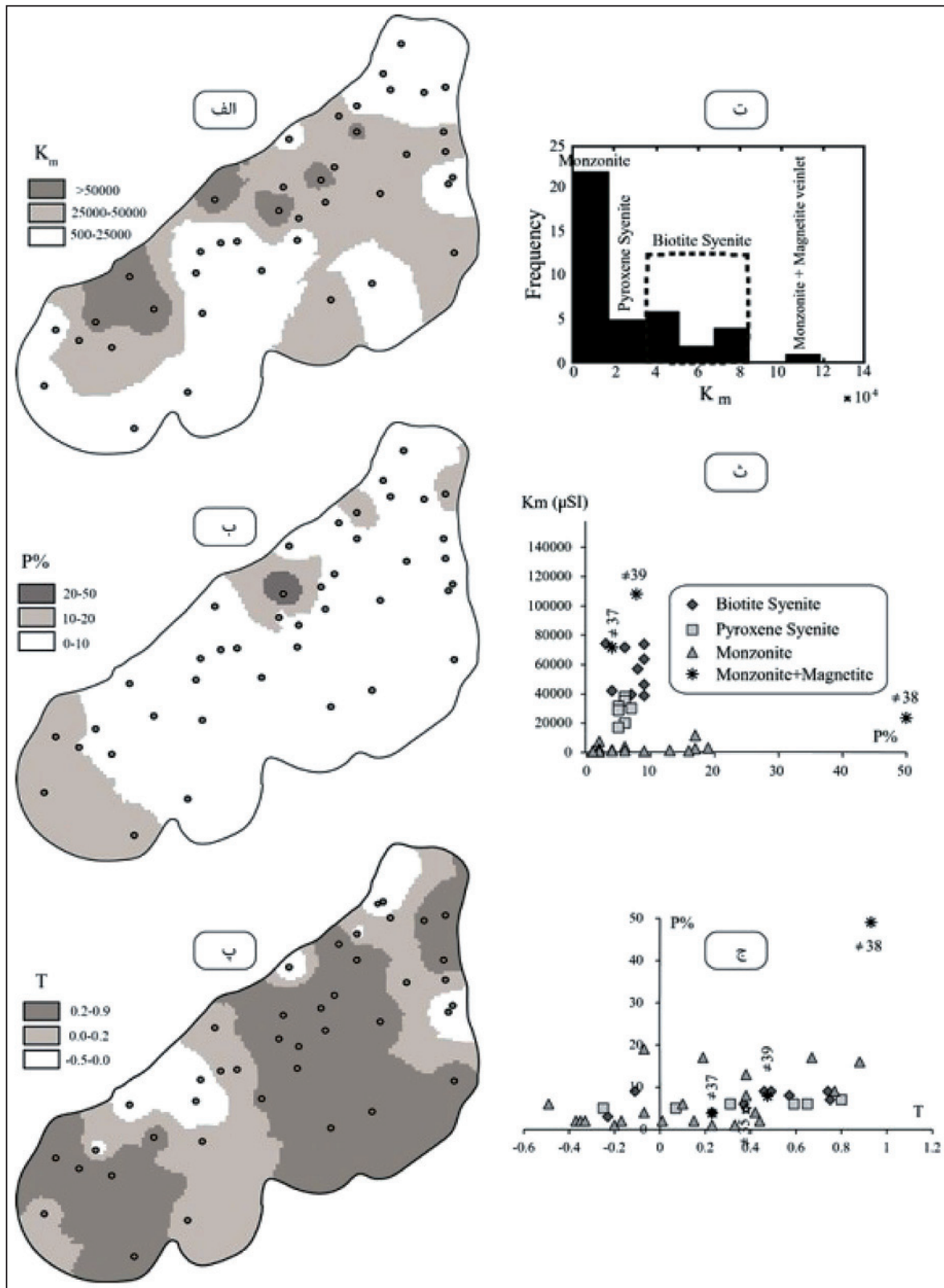
مدل پیشنهادی برای جایگیری گرانیت پنج کوه باید پاسخگوی الگوی فابریک‌های مغناطیسی به دست آمده برای توده باشد. به‌طور کلی بر پایه نتایج حاصل از مطالعات ناهمسانگردی پذیرفتاری مغناطیسی انجام شده روی توده پنج کوه مشخص شد که این توده نفوذی دارای دو الگوی فابریک مغناطیسی متفاوت است. یکی از این الگوها که روند چیره برگواری و خطوارگی را به خود اختصاص داده، به موازات حاشیه‌های توده نفوذی است. الگوی اول حاصل از مرحله جایگیری ماگما (D_1 ، شکل ۸) و الگوی فرعی دوم که در امتداد سه راهرو (زیرقلمروهای B_1 ، B_2 و B_3) به‌طور عرضی توده را قطع کرده و تقریباً دارای روند خطوارگی و امتداد برگواری شمال باختر- جنوب خاور است حاصل عملکرد پهنه‌های برشی فرعی و پس از جایگیری توده اشاره شده هستند (D_2 در شکل ۸). این موضوع با مقایسه شواهد سنگ‌نگاری، ریزساختی و همچنین تغییرات مقادیر پذیرفتاری مغناطیسی و همچنین درجه ناهمسانگردی به خوبی تأیید می‌شود. بر پایه شماری از ایستگاه‌های با خطوارگی‌های دارای میل زیاد در جنوب و جنوب باختر توده گرانیتوئیدی پنج کوه می‌توان دریافت که ماگمای سازنده توده از این نواحی به سوی بالا آمده است. پس از بالآ آمدگی، ماگما به‌طور جانبی در راستای شمال خاور- جنوب باختر و همسو با توالی آتشفشانی- رسوبی پیرامون، گسترش یافته است. در مراحل پایانی تفریق ژئوشیمیایی و تبلور ماگمایی، پهنه برشی موجود همچنان فعال بوده و موجب شکستگی و به وجود آمدن انواع ریزساخت‌های میلیونی در امتداد سه راهروی اصلی شده است. این شکستگی‌ها شرایط را برای دگرسانی سدیک- کلسیک فراگیر



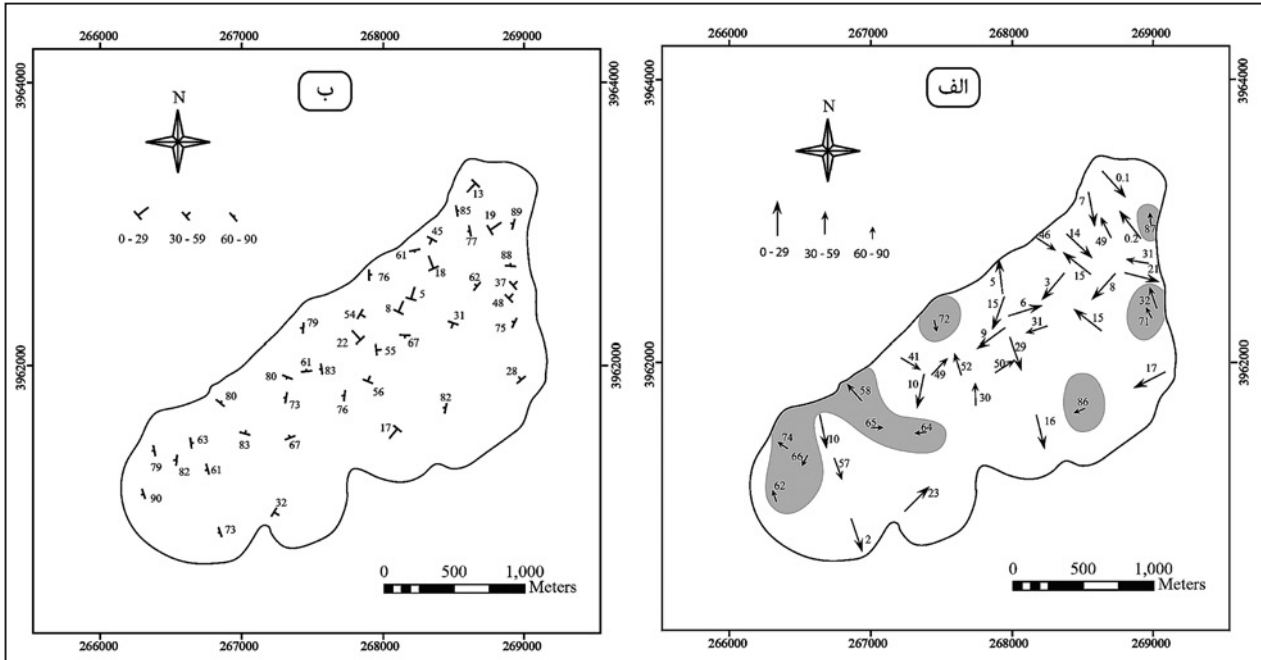
شکل ۱- نقشه زمین‌شناسی ساده‌ای از توده نفوذی و سنگ‌های میزبان پنج‌کوه دامغان (برگرفته از شبیبی، ۱۳۸۳) که موقعیت ایستگاه‌های نمونه‌برداری شده (در مجموع ۴۱ ایستگاه) و همچنین ترکیب سنگ‌شناسی هر ایستگاه به منظور مطالعات فابریک مغناطیسی در توده نفوذی نشان داده شده است.



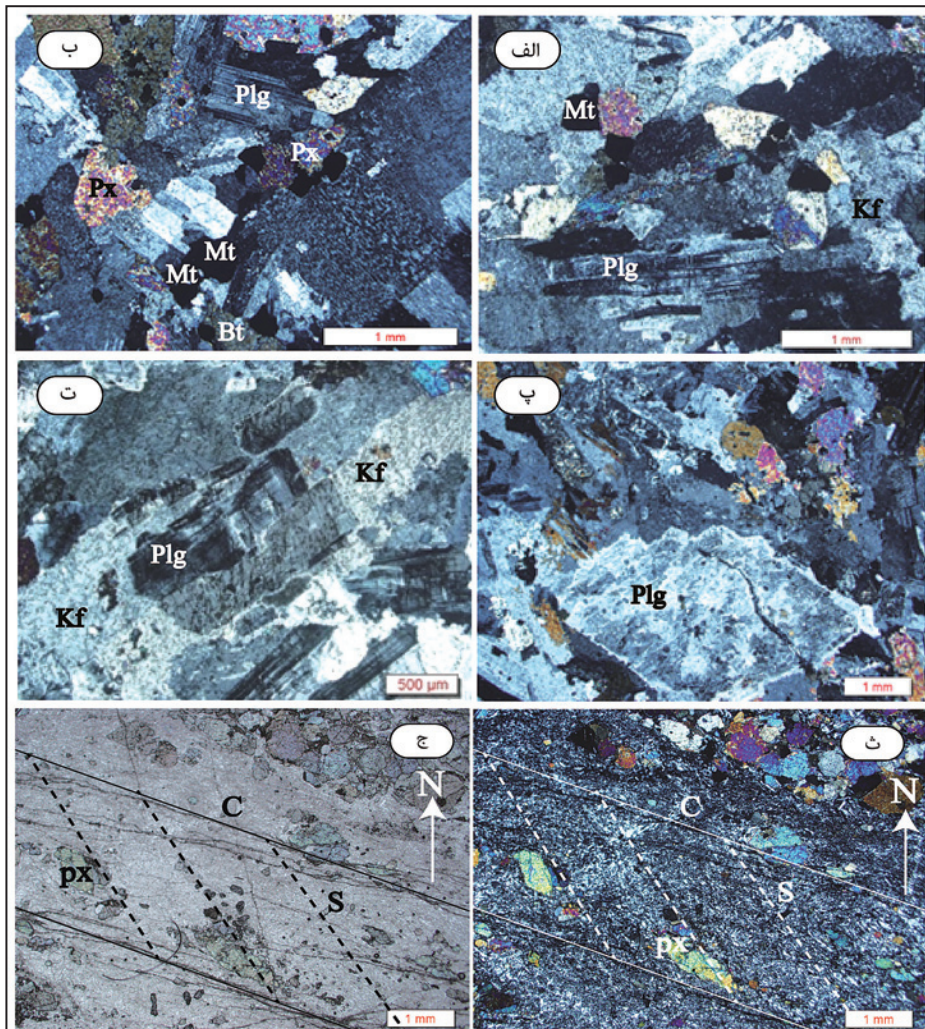
شکل ۲- تصاویر صحرایی از توده گرانیتوئیدی پنج‌کوه و سنگ‌های میزبان. الف) سنگ‌های آتشفشانی موجود در حاشیه خاوری توده نفوذی (دید به سوی شمال خاور). نام پنج‌کوه نیز از بلندترین ارتفاعات منطقه گرفته شده است؛ ب) نمایی از رگه‌های آلپیت-اسکاپولیت و مونزونیت‌های سفید رنگ حاشیه شمال توده نفوذی که به‌ویژه در مجاورت بلافضل با کانسار آهن موجود دیده می‌شوند.



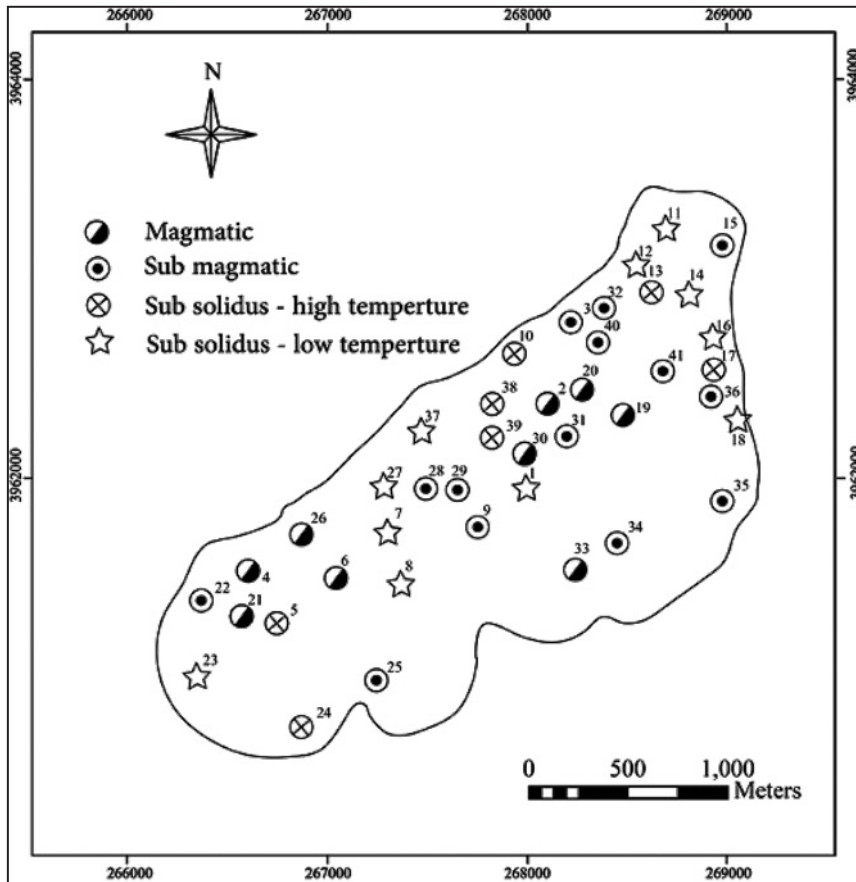
شکل ۳- نقشه‌های هم‌مقدار متغیرهای مغناطیسی و نمودارهای این متغیرها در برابر هم به همراه نمودار ستونی پذیرفتاری مغناطیسی در توده نفوذی پنج‌کوه. الف) نقشه هم‌مقدار پذیرفتاری مغناطیسی (K_m)؛ ب) نقشه هم‌مقدار درجه ناهمسانگردی ($P\%$)؛ پ) نقشه هم‌مقدار متغیر شکل (T)؛ ت) نمودار ستونی پذیرفتاری مغناطیسی کل در توده گرانیتویدی پنج‌کوه؛ ث) نمودار پذیرفتاری مغناطیسی در برابر ناهمسانگردی؛ ج) نمودار ناهمسانگردی در برابر متغیر شکل.



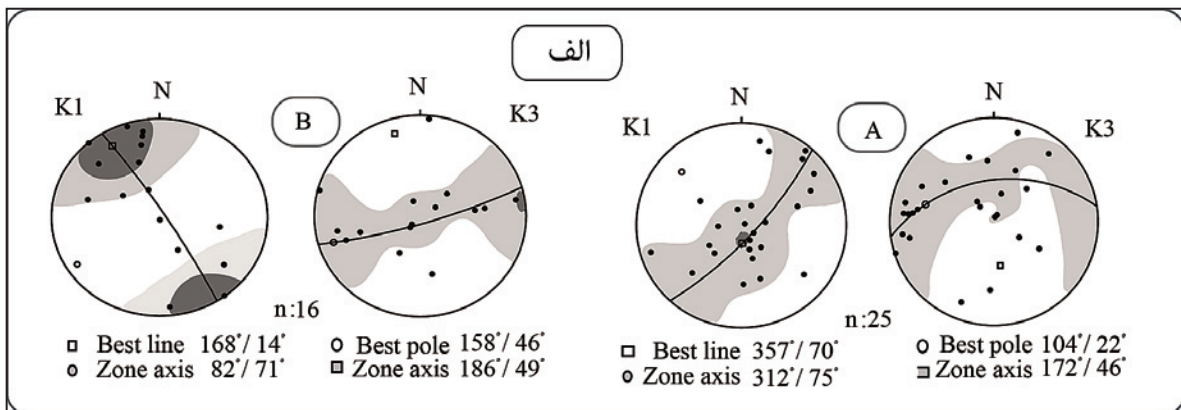
شکل ۴- الف) نقشه خطوارگی مغناطیسی توده نفوذی پنج‌کوه. این نقشه بر پایه سوی میل / میل خطوارگی (K_1) رسم و بر حسب مقدار میل سه گروه رده‌بندی شده است؛ ب) نقشه برگوارگی مغناطیسی توده مورد مطالعه. این نقشه بر پایه امتداد/مقدار شیب برگوارگی مغناطیسی (K_2) رسم و بر حسب شیب به سه گروه رده‌بندی شده است.



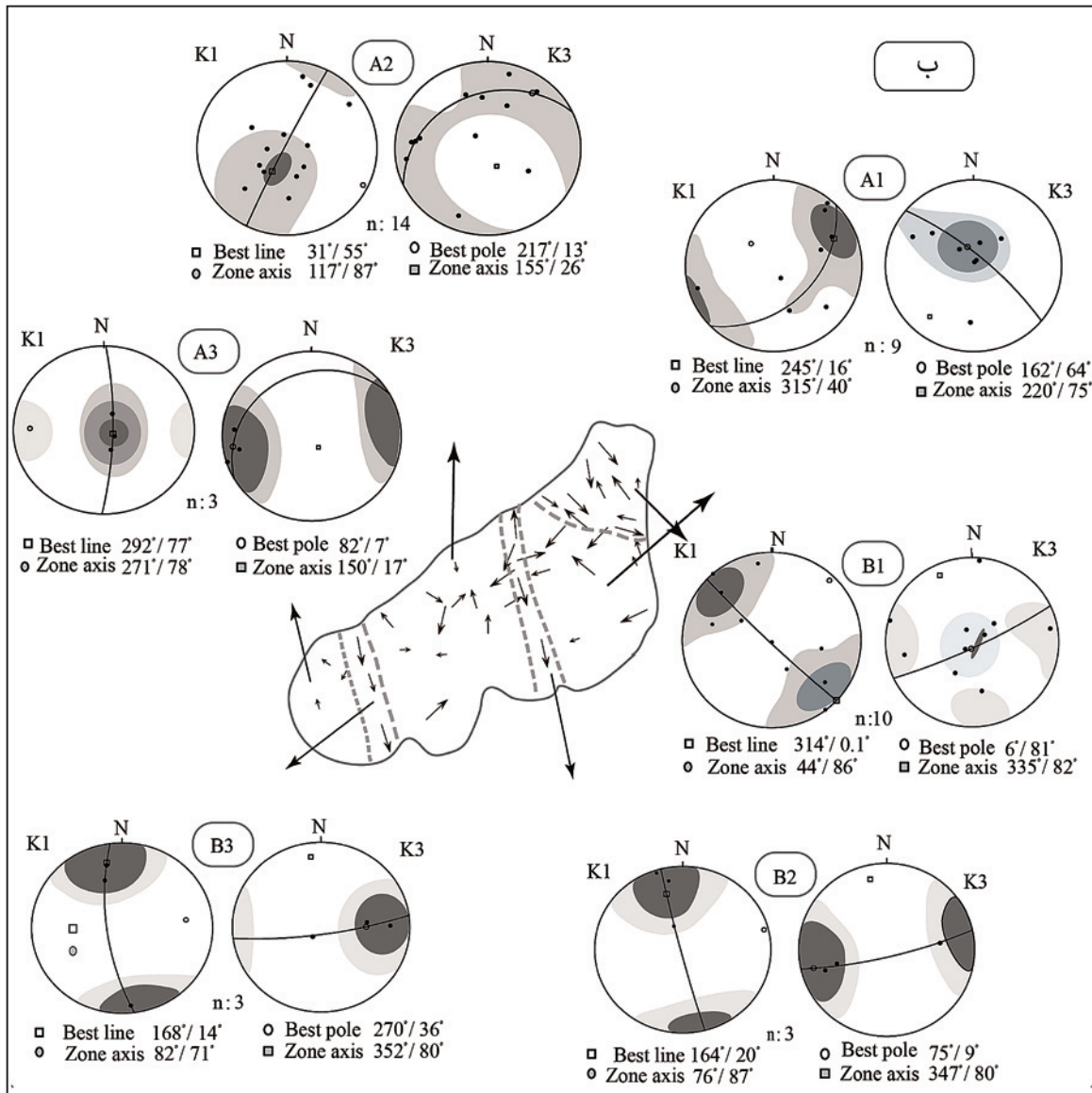
شکل ۵- تصاویر میکروسکوپی انواع ریزساخت‌های دیده شده در توده نفوذی پنج‌کوه. الف و ب) فابریک ماگمایی که با بلورهای تخته‌ای پلاژیوکلاز، کانی‌های خود شکل و اولیه پیروکسن، بیوتیت و مگنتیت مشخص می‌شود؛ پ) فابریک ساب‌ماگمایی که در آن پلاژیوکلاز شکسته شده و با کوارتز \pm آلکالی فلدسپار پر شده است؛ ت) جابه‌جایی شکل‌پذیر ماکل پلاژیوکلاز که معرف دگرشکلی ساب‌سولیدوس دمای بالاست؛ ث و ج) فابریک دگرشکلی حالت جامد دمای پایین یا میلونیته موجود در امتداد رگه و رگچه‌های آلپیت-اسکاپولیت که در آنها پیروکسن‌های ماهی‌شکل، فابریک‌های C و S مشخص شده است.



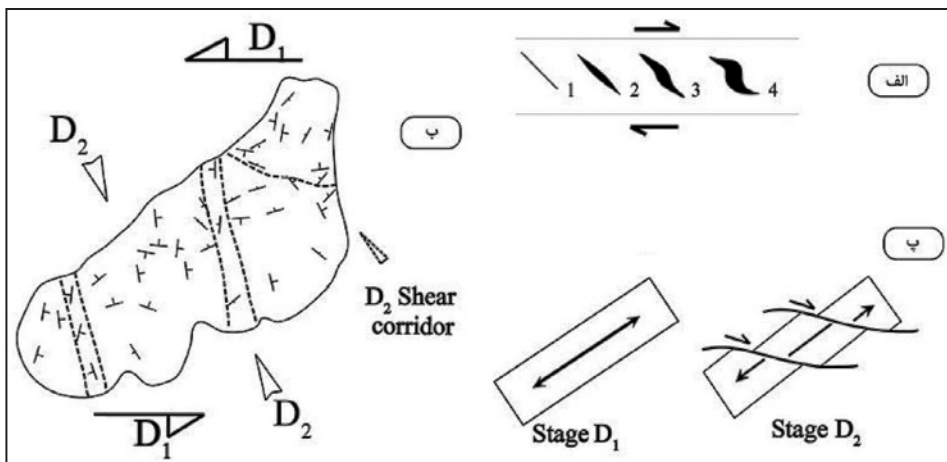
شکل ۶- نقشه ریز ساختی و پراکنده‌گی انواع ریز ساخت‌ها از ماگمایی تا ساب‌سالی‌دوس دمای پایین (میلونیتی).



شکل ۷- قلمروهای ساختاری اصلی و زیرقلمروهای موجود در توده نفوذی پنج کوه که بر پایه تلفیقی از داده‌های حاصل از فابریک مغناطیسی به دست آمده است. الف) دو قلمرو اصلی A و B.



شکل ۷- قلمروهای ساختاری اصلی و زیرقلمروهای موجود در توده نفوذی پنج کوه که بر پایه تلفیقی از داده‌های حاصل از فابریک مغناطیسی به دست آمده است. (ب) زیرقلمرو A₁, A₂ و A₃ و B₁, B₂ و B₃. استریوگرام‌ها الگوهای خطوارگی (K₁) و قطب برگرورگی (K₃) قلمروهای مختلف را نشان می‌دهند. N تعداد اندازه‌گیری‌ها یا همان تعداد ایستگاه‌هاست.



شکل ۸- رابطه میان فابریک‌های مغناطیسی و چگونگی جایگیری توده نفوذی پنج‌کوه. الف) مراحل مختلف بازشدگی و پرشدن شکستگی‌های حاصل از فعالیت پهنه‌های برشی را نشان می‌دهد؛ ب) الگوهای فابریک مغناطیسی ماگمایی ناشی از عملکرد پهنه برشی شکل‌پذیر چپ لغز (مرحله اول) و دگرشکلی‌های پس از جایگیری و تبلور (مرحله دوم) که بر پایه مطالعات ریز ساختی و الگوهای فابریک مغناطیسی به دست آمده است؛ پ) تحولات ساختاری، سازوکار جایگیری توده گرانیتوئیدی مورد مطالعه و چگونگی پیدایش دگرشکلی‌های مراحل نهایی تبلور و پس از جایگیری در امتداد پهنه‌های برشی فرعی موجود.

جدول ۱- داده‌های حاصل از اندازه‌گیری پارامترهای فابریک مغناطیسی در توده گرانیتوبیدی پنج‌کوه.

Station	UTM		Km	Lin. Az/Pl.	Pol of Fol Az/Pl	P%	T
	Long. X	Lat. Y					
Biotite Syenite							
PM-2	268129	3962385	73770	073/06	206/82	9	0.74
PM-3	268249	3962805	37934	123/46	349/29	6	0.59
PM-4	266662	3961457	63649	169/10	263/27	9	-0.11
PM-5	266762	3961296	29961	160/57	074/29	7	0.8
PM-6	267041	3961542	71497	087/65	195/07	6	0.37
PM-17	268945	3962570	41890	105/21	229/53	4	0.23
PM-19	268518	3962302	46224	309/15	195/59	9	0.46
PM-20	268221	3962468	39445	220/03	195/85	7	0.75
PM-21	266553	3961338	38615	206/66	095/08	9	0.49
PM-26	266880	3961754	74122	319/58	219/10	3	-0.23
PM-40	268363	3962699	56943	309/15	156/72	8	0.57
Pyroxene Syenite							
PM-16	268930	3962700	19941	280/31	185/02	6	0.65
PM-30	267984	3962137	28719	161/29	264/35	5	0.38
PM-31	268161	3962245	16990	251/31	003/23	5	-0.25
PM-33	268196	3961604	35004	167/16	039/73	6	0.31
PM-35**	268999	3961912	169952	243/17	140/62	8	0.38
PM-41	268692	3962554	31245	222/08	129/28	5	0.07
Monzonite							
PM-1	267977	3961995	811	057/50	203/34	9	0.77
PM-7	267316	3961776	3671	192/10	099/17	6	-0.49
PM-8	267358	3961513	1201	263/64	159/23	6	0.1
PM-9	267744	3961795	535	358/30	096/14	1	0.33
PM-10	267926	3962651	7381	354/05	269/14	2	-0.37
PM-11	268669	3963276	1433	139/0.1	044/77	4	-0.07
PM-12	268544	3963081	938	170/07	260/05	2	-0.35
PM-13	268589	3962978	1104	333/49	079/13	2	0.01
PM-14	268804	3962958	987	323/0.2	239/71	4	0.42
PM-15	268940	3962992	2420	354/87	105/01	17	0.67
PM-18	268967	3962365	585	331/71	116/15	2	-0.17
PM-22	266397	3961407	1012	303/74	079/11	16	0.88
PM-23	266323	3961042	11537	342/62	072/0.5	17	0.19
PM-24	266913	3960762	1240	162/02	071/17	13	0.38
PM-25	267257	3961003	1026	045/23	302/58	1	0.23
PM-27	267340	3961918	817	121/41	022/10	1	-0.2
PM-28	267475	3961973	2417	043/49	174/29	2	0.15
PM-29	267583	3961985	1607	342/52	082/07	4	0.23
PM-32	268361	3962870	2916	134/14	028/45	19	-0.07
PM-34	268464	3961711	1325	247/86	102/08	2	0.44
PM-36	268992	3962405	664	341/32	225/42	2	-0.33
PM-37*	267441	3962257	73609	167/72	095/11	4	0.23
PM-38*	267880	3962341	25295	200/15	301/36	50	0.93
PM-39*	267855	3962189	107975	234/9	137/68	8	0.48

(Long. و Lat.): طول و عرض جغرافیایی ایستگاه‌ها بر حسب UTM؛ (Lin.): سوی میل و میل K₁ معرف خطوارگی مغناطیسی؛ (Fol.): سوی میل و میل K₃ معرف

قطب بر گوارگی مغناطیسی؛ (Km): پذیرفتاری مغناطیسی کل بر حسب μSI ؛ (P%): درصد ناهمسانگردی و (T): متغیر شکل.

* سه ایستگاه ۳۷، ۳۸ و ۳۹ دارای ترکیب مونزونیتی بوده اما حضور منیثیت همراه با اسکاپولیت موجب بالارفتن پذیرفتاری مغناطیسی شده است. ایستگاه ۳۵ نیز به دلیل حضور منیثیت‌های دانه‌درشت با بافت انتشاری با رنگ خاکستری از دیگر ایستگاه‌ها جدا شده است.

کتابنگاری

اقلیمی، ب.، ۱۳۷۹- نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰۰ معبد. انتشارات سازمان زمین‌شناسی کشور.

شیبی، م.، ۱۳۸۳- پترولوژی و ژئوشیمی توده نفوذی و اسکارن آهن پنج‌کوه (جنوب شرقی دامغان)، رساله کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران، دانشکده علوم، گروه زمین‌شناسی.
 شیبی، م.، ۱۳۸۸- پترولوژی، ژئوشیمی و سازوکار جایگیری باتولیت گرانیتوئیدی شیرکوه (جنوب غرب یزد)، رساله دکترا، دانشگاه تهران، دانشکده علوم، گروه زمین‌شناسی.
 هوشمندزاده، ع.، علوی، م. و حقی‌پور، ع.، ۱۳۵۷- تحول پدیده‌های زمین‌شناسی تروود، سازمان زمین‌شناسی کشور، گزارش شماره H5.

References

- Archanjo, C., Launeau, P. & Bouchez, J. L., 1995- Magnetic fabric vs. magnetite and biotite shape fabrics of the magnetite-bearing granite pluton of Gameileras (Northeast Brazil). *Physics of the Earth and Planetary Interiors* 89:63-75 .
- Aydin, A., Ferré, E. C. & Aslan, Z., 2007- The magnetic susceptibility of granitic rocks as a proxy for geochemical differentiation: Example from the Saruhan granitoids, NE Turkey. *Tectonophysics* 441: 85-95.
- Bell, T. H. & Etheridge, M. A., 1973- Microstructures of mylonites and their descriptive terminology. *Lithos* 6: 337-348.
- Benn, K., Rochette, J. L., Bouchez, J. L. & Hattori, K., 1993- Magnetic susceptibility, magnetic mineralogy and magnetic fabrics in a late Archean granitoid-gneiss belt. *Precambrian Research* 63: 59-81.
- Borradaile, G. J. & Henry, B., 1997- Tectonic applications of magnetic susceptibility and its anisotropy. *Earth-Science Reviews* 42: 49-93.
- Bouchez, J. L., 1997- Granite is never isotropic: An introduction to AMS studies in granitic rocks. *kluver.*, Dordrecht 95-112.
- Bouchez, J. L., Delasc, G. & Nedelec, A., 1992- Submagmatic microfracture in granite. *Geology* 20: 35-38.
- Castro, A., 1986- Structural pattern and ascent model in the central Extremadura batholith, Hercynian belt, Spain. *Journal of Structural Geology* 8: 633-645.
- Clemens, J. D. & Mawer, C. K., 1992- Granitic magma transport by fracture propagation. *Tectonophysics* 204: 339-360.
- Cruden, A. R., 1988- Deformation around a rising diapir modeled by creeping flow past a sphere. *Tectonics* 7: 1091-1101.
- Ellwood, B. B., 1978- Flow and emplacement direction determined for selected basaltic bodies using magnetic susceptibility anisotropy measurements, *Earth and Planetary Science Letters* 41: 254-264.
- Gregoire, V., Darrozes, J., Gaillot, P., Nedelec, A. & Launeau, P., 1998- Magnetite grain shape fabric and distribution anisotropy vs rocks magnetic fabric: a three-dimensional case study. *Journal of Structural Geology* 20: 937-944.
- Hutton, D. H. W., 1982- A tectonic model for the emplacement of the main Donegal granite, NW Ireland. *Journal of the Geological Society London* 139: 615-631.
- Hutton, D. H. W., Dempster, T. J., Brown, P. E. & Decker, S. D., 1990- A new mechanism of granite emplacement: intrusion in active extensional shear zones. *Nature* 343: 452-455.
- Kehelpannala, K. V. W., 1997- Deformation of a high-grade Gondwana fragment, Sri Lanka. *Gondwana Res* 1: 47-68.
- Lanza, R & Meloni, A., 2006- The earth magnetism: An Introduction for geologists. Springer, 278 p.
- Pennacchioni, G., Di Toro, G. & Mancktelow, N. S., 2001- Straininsensitive preferred orientation of porphyroblasts in Mont Mary mylonites. *Journal of Structural Geology* 23:1281-1298.
- Ramsay, J. G., 1989- Emplacement kinematics of granite diaper: the chindamora batholite. Zimbabwe. *Journal of Structural Geology* 11: 191-209.
- Rochette, P., Jackson, M. & Aubourg, C., 1992- Rock magnetism and the interpretation of anisotropy of magnetic susceptibility. *Reviews of Geophysics* 30: 209-226.
- Saint Blanquat, M., Law, R. D., Bouchez, J. L. & Morgan, S. S., 2001- Internal structure and emplacement of the Papoose Flat pluton: an integrated structural, petrographic and magnetic susceptibility study. *Geological Society of America Bulletin* 113: 976-995.
- Sheibi, M., 2014- Mineral chemistry and mass changes of elements during alteration of Panj-Kuh intrusive body (Damghan, Iran). *Geopersia* 4 (1), 87-102
- Sheibi, M., Bouchez, J. L., Esmaily, D. & Siqueira, R., 2012- The Shir-Kuh pluton (Central Iran): Magnetic fabric evidences for the coalescence of magma batches during emplacement. *Journal of Asian Earth Sciences* 46: 39-51.
- Ten Grotenhuis, S. M., Passchier, C. W. & Bons, P. D., 2002- The influence of strain localisation on the rotational behaviour of rigid objects in experimental shear zones. *Journal of Structural Geology* 24: 485-499.
- Tikoff, B. & Saint-Blanquat, M., 1997- Transpressional shearing and strike-slip partitioning in the Late Cretaceous Sierra Nevada magmatic arc, California. *Tectonics* 16: 442-459.

Emplacement Mechanism of the Panj-Kuh Granitoid Pluton Using Magnetic Fabric Method

M. Sheibi ^{1*} & M. Pooralizadeh Moghadam ²

¹ Assistant Professor, Faculty of Geology, University of Shahrood, Shahrood, Iran

² M. Sc., Faculty of Geology, University of Shahrood, Shahrood, Iran

Received: 2013 November 18

Accepted: 2015 January 21

Abstract

Panj-Kuh granitoid intrusion with an area of 15 Km² is intruded into the Eocene volcano-sedimentary sequence, in south-east of Damghan city. Syenite is the main composition of the pluton. It has converted to monzonite wherever subjected to sodic-calcic alteration. The presence of albite-scapolite veins (from mm to some hundred meters in width) are the main evidences of the Na-Ca alteration in the mentioned pluton. Present study investigates the result of magnetic fabric in the Panj-Kuh pluton and defines the emplacement mechanism according to the lineation and foliation patterns and microstructural observations. The pluton belongs to the ferromagnetic granites due to high mean bulk magnetic susceptibility ($K_m > 400 \mu\text{SI}$) and presence of magnetite. The highest anisotropy values were observed in the regions with high deformation. High plunging lineation and foliations associated with negative value of shape parameter show the magma feeder zones. According to the present study, it seems that the pluton has two different types of fabric patterns. The first pattern belongs to the magmatic lineation and foliation that are arranged parallel to the long axis of the pluton with NE-SW trend. The second fabric is related to the regions that were subjected to Na-Ca alteration and cross cutting the first pattern as three parallel corridors. This fact is confirmed by magmatic to low temperature solid state microstructures as well. Compiling all data implies that the mentioned pluton was emplaced in a sinistral shear zone.

Keywords: Anisotropy of magnetic susceptibility, Emplacement mechanism, Panj-Kuh granitoid pluton, Damghan.

For Persian Version see pages 117 to 128

*Corresponding author: M. Sheibi; E-mail: sheibi@shahroodut.ac.ir