

تعیین سازوکار جایگیری توده گرانیتوئیدی درّه باغ (شمال غرب الیگودرز) با روش بررسی ناهمگنی پذیرفتاری مغناطیسی (AMS)

محمود صادقیان * و سکینه شکاری
دانشکده علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران

چکیده

توده گرانیتوئیدی درّه باغ واقع در شمال غرب الیگودرز، به سن ژوراسیک میانی (۱۷۸ میلیون سال) با ترکیب بیشتر گرانودیوریتی در درون سنگ‌های متاپلیتی پهنه سنج-سیرجان جای گرفته است. سازوکار جایگیری این توده برای اولین بار با روش ناهمگنی (انیزوتروپی) پذیرفتاری مغناطیسی (AMS) بررسی شده است. بر اساس بررسی‌های انجام شده، مقادیر میانگین پذیرفتاری مغناطیسی (Km) بر حسب μSI در واحدهای سنگی مختلف سازنده آن عبارتند از: گرانودیوریت‌ها (۲۵۷)، لوکوگرانیت‌ها (۴۷)، لوکوگرانیت‌های حاوی تورمالین زیاد (۱۴۸)، لوکوگرانیت‌های حاوی اندکی تورمالین (۴۸)، میگماتیت‌ها (۴۳۷) و آنکلاوهای سورمیکاسه (۳۸۶). با توجه به این مقادیر، بخش فلسیک توده گرانیتوئیدی درّه باغ جزو گرانیتوئیدهای پارامغناطیس μSI ($0 < \text{Km} < 500$) (معادل سری ایلمنیت یا نوع S) محسوب می‌شود. بر اساس شاخص‌های مغناطیسی و تفسیر آنها این توده گرانیتوئیدی را به قلمروهای A و B و زیرقلمروهای A1 و A2 می‌توان تقسیم کرد. در این زیرقلمروها، خطواره‌های مغناطیسی بیشتر به سمت شمال است. در بخش میانی توده (قلمروی B) خطواره‌های مغناطیسی بیشتر به سمت شرق و جنوب شرق آرایش نشان می‌دهد. با توجه به الگوهای توزیع خطواره‌های مغناطیسی، این دو قلمرو با اندکی تأخیر زمانی نسبت به یکدیگر جای گرفته‌اند. در ضمن، جایگیری قلمروی A بر B تقدم داشته است. با توجه به الگوی توزیع و میل خطواره‌ها و شیب برگواره‌های مغناطیسی، مبانی تعبیر و تفسیر شاخص‌های مغناطیسی و ویژگی‌های زمین‌شناسی منطقه‌ای، توده گرانیتوئیدی درّه باغ به شکل یک سیل نسبتاً بزرگ و در پهنه برشی راست‌بر (مرتبط با یک رژیم ترافشارشی = transpression) جای گرفته است.

واژه‌های کلیدی: ناهمگنی پذیرفتاری مغناطیسی، خطواره‌ها و برگواره‌های مغناطیسی، رژیم ترافشارشی، الیگودرز، درّه باغ، زون سنج-سیرجان

مقدمه

الیگودرز و در قسمت میانی پهنه ساختاری سنج-سیرجان واقع شده است (شکل ۱). بر اساس نفوذ این توده در درون سنگ‌های متاپلیتی با ترکیب

توده گرانیتوئیدی درّه باغ، با وسعت تقریبی ۶۰ کیلومتر مربع در ۵ کیلومتری شمال غرب شهرستان

معادل دگرگونی سنگ‌های شیلی-ماسه‌سنگی شمشک به سن اواخر تریاس تا اوایل ژوراسیک جای گرفته است. سنگ‌های میزبان توسط تعداد اندکی دایک میکرودیوریتی قطع شده است (Mardani et al., 2010; Baghbani, 2012). در مناطق همجوار برخی از این دایک‌های میکرودیوریتی، توده‌های گرانیتوئیدی از جمله توده گرانیتوئیدی گل‌زرد را قطع کرده‌اند (Badallo, 2012). در ضمن، در محدوده بسیار کم وسعتی از حاشیه غربی توده رخنمونی از سنگ‌های دیوریتی گسیخته شده مشاهده می‌شود. فضای بین قطعات گسیخته شده را گرانودیوریت‌ها به خود اختصاص می‌دهد (Esna-Ashari et al., 2011a). بر اساس مشاهدات صحرایی و مقاطع نازک تهیه شده ترکیب سنگ‌شناسی غالب توده گرانیتوئیدی دره‌باغ، گرانودیوریتی است. گرانودیوریت‌ها توسط دایک‌های لوکوگرانییتی و رگه‌ها و رگچه‌های آپلیتی و پگماتییتی قطع شده‌اند. برخی از این رگه‌های آپلیتی و پگماتییتی حاوی تورمالین است. حضور آنکلاوهای متاپلیتی (آندالوزیت هورنفلسی، میکاشیستی، زینولیت‌های کوارتزی و زینوکریست‌های آندالوزیتی) از ویژگی‌های بارز این توده محسوب می‌شود. جایگیری توده گرانیتوئیدی در سنگ‌های دگرگونی ناحیه‌ای میزبان و گرمای ناشی از وجود آنها، دگرگونی مجاورتی کم ضخامتی در حد کردیریت-هورنفلس ایجاد کرده است.

شواهد صحرایی و بررسی‌های میکروسکوپی معرف آن است که گرانیتهایی در طی تحولات چند مرحله‌ای صورت گرفته است که به تشکیل و جایگیری این توده گرانیتوئیدی و برخی توده‌های گرانیتوئیدی همجوار منجر شده است. این فرآیند چند مرحله‌ای در بررسی‌های پیشین کمتر مورد توجه قرار گرفته و به ندرت آثار فهم صحیح آن در مستندات منتشر شده مشاهده می‌شود. با توجه به شواهد

سنگ‌شناسی اسلیت، فیلیت، میکاشیست و گارنت میکاشیست (معادل دگرگون شده شیل و ماسه‌سنگ‌های اواخر تریاس-اوایل ژوراسیک) و تعیین سن‌های صورت گرفته روی این توده بر روی زیرکن با روش U-Pb (Esna-Ashari, 2011; Esna-Ashari et al., 2012) و تعیین سن‌های انجام شده بر روی توده‌های گرانیتوئیدی مشابه همجوار در پهنه سنندج-سیرجان نظیر: توده گرانیتوئیدی آستانه (Tahmasbi et al., 2001)، همدان (Baharifar et al., 2004)، بروجرد (Ahmadi Khalaji et al., 2007)، شهرکرد (Davoudian et al., 2008)، اشنویه (Ghahamghash et al., 2009)، ازنا (Shabanian et al., 2009)، الوند (Shahbazi et al., 2010)، دهنو (Rajaie et al., 2010)، بوئین میاندشت (Ghasemi, 1992) و ... منطقی‌ترین سن برای تشکیل و جایگیری این توده ژوراسیک میانی است.

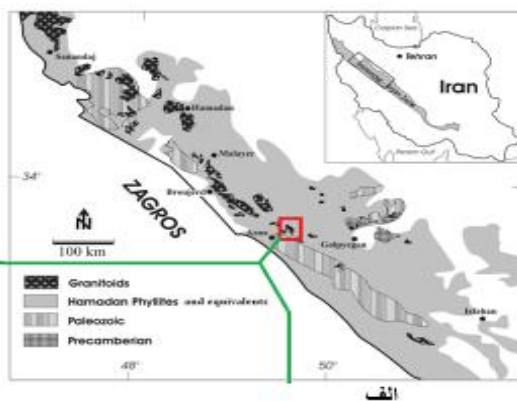
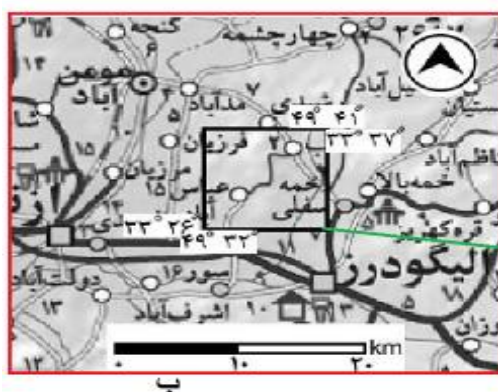
این توده نفوذی با عنوان توده گرانیتوئیدی ملاطالب از دیدگاه سنگ‌شناسی، ژئوشیمی و پتروولوژی توسط پژوهشگران متعدد نظیر: Seddighi (۱۹۹۴)، Bagherian و Khakzad (۲۰۰۱)، Abdollahi و Darvishi (۲۰۰۸)، Esna-Ashari و همکاران (۲۰۱۱a و ۲۰۱۱b) بررسی شده اما از لحاظ فابریک مغناطیسی تاکنون پژوهشی بر روی آن انجام نشده است. فابریک‌های مغناطیسی این توده، در پرتو روش بررسی ناهمگنی پذیرفتاری مغناطیسی برای نخستین بار انجام شده است و نتایج به دست آمده از آن در پژوهش حاضر ارائه می‌شود.

زمین‌شناسی و سنگ‌شناسی

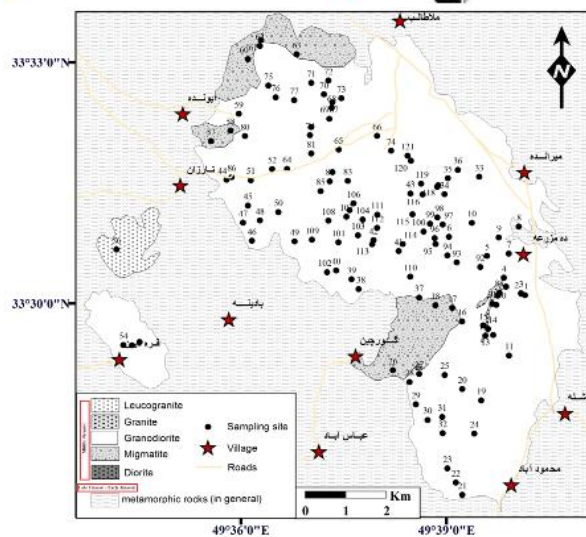
توده گرانیتوئیدی دره‌باغ، واقع در شمال غرب الیگودرز، در بین سنگ‌های دگرگونی ناحیه‌ای درجه پایین با طیف سنگ‌شناسی اسلیت، فیلیت و شیست

با توجه به کلیه شواهد از جمله: حضور گسترده زینوکریست‌های آندالوزیت، آنکلاوهای متاپلیتی (شیستی و هورنفلسی) آنکلاوهای متاپسامیتی، زینولیت‌های کوارتزی، حضور گسترده بیوتیت، حضور تورمالین و بقایای گارنت در سنگ‌های گرانودیوریتی، بخش فلسیک توده گرانیتوئیدی مورد نظر، در زمره گرانیتوئیدهای تیپ S (پالین ژنتیک) قرار می‌گیرد. بر اساس بررسی‌های پترولوژی و ژئوشیمیایی صورت گرفته (Baghbani, 2012) این توده از جمله گرانیتوئیدهای کالک‌آلکان و پرآلومین، نوع S و مرتبط با فرورانش اقیانوس نئوتتیس به زیر ایران مرکزی است. البته بخش دیوریتی-کوارتزدیوریتی که دارای تاریخچه و منشأ تشکیل متفاوتی است را می‌توان در زمره گرانیتوئیدهای نوع I جای داد.

صحرائی و پتروگرافی، در اثر جایگیری ماگماهای بازیک-حدواسط (با ترکیب گابرو تا دیوریت) در بین مجموعه متاپلیتی (اسلیت، فیلیت، میکاشیست و گارنت میکاشیست) دما بالا رفته (دگرگونی مجاورتی گسترده‌ای صورت گرفته) و تا حد ذوب مجموعه دگرگونی پیش رفته است. ابتدا آندالوزیت هورنفلس و سپس سیلیمانیت هورنفلس تشکیل شده و با گذر از مرز دمایی ذوب متاپلیت‌ها، ماگماهای گرانیتوئیدی به وجود آمده‌اند. سپس ماگماهای تولید شده به ترازهای بالاتر پوسته صعود و جایگیری کرده است. در ضمن، لوکوگرانیت‌ها و پگماتیت‌های تورمالین‌دار به صورت دایک یا رگه و رگچه، گرانودیوریت‌ها را قطع کرده‌اند. بر اساس شواهد صحرائی اختلاف زمانی بین توده‌های بازیک و فلسیک چندان زیاد نبوده است (Baghbani, 2012؛ Shekari, 2012).



شکل ۱- الف) نقشه زمین‌شناسی عمومی بخش شمال غربی پهنه سهندج-سیرجان. بیشتر توده‌های گرانیتوئیدی موجود در این پهنه در راستای شمال غربی-جنوب شرقی دارای شکل عدسی کشیده است (Mohajjel, 2005)؛ ب) نقشه نشان‌دهنده موقعیت جغرافیایی و راه‌های دسترسی به منطقه بررسی شده (که با کادر مشخص شده است) (اقتباس از پایگاه www.iranview.com؛ ج) نقشه زمین‌شناسی اصلاح شده توده گرانیتوئیدی دره‌باغ همراه با نقاط نمونه‌برداری (مغزه‌گیری) (Shekari, 2012). کمبود نقاط نمونه‌برداری در حاشیه شرقی به علت نامناسب بودن سنگ‌ها برای مغزه‌گیری است. در این بخش سنگ‌ها بیشتر خرد شده و زمین‌های زراعی در این مناطق گسترش دارند.



روش انجام پژوهش

برای بررسی فابریک‌های مغناطیسی لازم است از توده‌های نفوذی به ازای هر ۱ تا ۲ کیلومتر مربع، دو مغزه برداشت شود. این مغزه‌ها توسط موتور حفاری قابل حمل برداشت می‌شود. سپس توسط ترازباب مغزه و کمپاس، راستا و مقدار میل هر مغزه اندازه‌گیری می‌شود. مشخصات مغزه‌ها نظیر: نام نمونه، مختصات محل برداشت و ویژگی‌های

سنگ‌شناسی آنها ثبت و ضبط می‌شود تا در مراحل بعدی استفاده شود. طی بررسی فابریک‌های مغناطیسی هر یک از مغزه‌ها به قطعات استوانه‌ای شکل به ارتفاع ۲۲ میلی‌متر برش داده می‌شود (شکل ۲). قطعات به دست آمده توسط کلریدریک اسید ۰/۲ نرمال شستشو می‌شود. نمونه‌ها پس از خشک شدن برای اندازه‌گیری‌های مغناطیسی آماده است.



ب



الف

شکل ۲- الف) تصویری از مغزه‌های تهیه شده پس از پایان عملیات حفاری، ب) تصویری از قطعات استوانه‌ای شکل ۲۲ میلی‌متری پس از برش مغزه‌ها

بعدی نمونه‌های سنگی را می‌توان به صورت یک بیضوی مغناطیسی تجسم کرد. بزرگترین بردار مغناطیسی آن با نماد K_1 ، معرف خط‌وارگی مغناطیسی و کوچکترین بردار بیضوی مغناطیسی با نماد K_3 است. بردار K_2 حدواسط بین K_1 و K_3 است ($K_3 < K_2 < K_1$). با توجه به مقادیر K_2 ، K_3 و K_1 شاخص‌های زیر معرفی می‌شوند.

$$T = (2\ln(K_2/K_3) / \ln(K_1/K_3))$$

$$P(\%) = \frac{(K_1 - K_3)}{K_3} \times 100$$

$$K_m = \frac{K_1 + K_2 + K_3}{3}$$

شاخص‌های P ، K_m و T ، حاصل از معادلات بالا به عنوان مبنای تعبیر و تفسیرهای بعدی استفاده

مقادیر شاخص‌های مغناطیسی (T و P ، K_m) قطعات ۲۲ میلی‌متری به دست آمده پس از برش مغزه‌ها، توسط دستگاه اندازه‌گیری پذیرفتاری مغناطیسی مدل MF-K1-FA اندازه‌گیری شد. شاخص K معرف ضریب پذیرفتاری مغناطیسی یا نسبت بین میزان مغناطیس‌شدگی و شدت میدان مغناطیسی القا شده (M/H) است. مقدار K دارای دو مفهوم عددی و برداری است. مقادیر عددی آن در محاسبه مقدار پذیرفتاری مغناطیسی میانگین (K_m)، درصد انیزوتروپی مغناطیسی ($P\%$)، شاخص شکل (T) و ... استفاده می‌شود. مقادیر برداری K در تعیین خط‌واره‌ها و برگ‌واره‌های مغناطیسی و ترسیم استریوگرام‌های مربوط به هر ایستگاه یا کل توده نفوذی استفاده می‌شود. تغییرات میزان پذیرفتاری مغناطیسی در فضای سه

می‌شود و همچنین، با استفاده از این شاخص‌ها چگونگی نفوذ و جایگیری، مورد بررسی قرار می‌گیرد. همزمان با اندازه‌گیری شاخص‌ها و فابریک‌های مغناطیسی و با توجه به تنوع ترکیب سنگ‌های رخنمون یافته در اطراف هر ایستگاه، از قطعات حاصل از مغزه‌های برش داده شده به تعداد مورد نیاز، مقطع نازک تهیه می‌شود (حداقل یک مقطع نازک به ازای هر ایستگاه). بررسی و تفسیر ساخت‌های میکروسکوپی مشاهده شده در مقاطع نازک تهیه شده (ریزساخت‌ها)، یکی از جنبه‌های مهم بررسی‌های فابریک‌های مغناطیسی است.

جزئیات روش کار در پژوهش‌های Tarling و Hernandez (۱۹۹۳)، Bouchez (۱۹۹۷)، Sadeghian (۲۰۰۲)، Ghalamghash (۲۰۰۲) و Badallo (۲۰۱۰)، Gavanji (۲۰۱۰) و Shekari (۲۰۱۰) یافت می‌شود. در پژوهش حاضر، نتایج حاصل از بررسی فابریک‌های مغناطیسی توده گرانیتوئیدی دره‌باغ ارائه می‌شود.

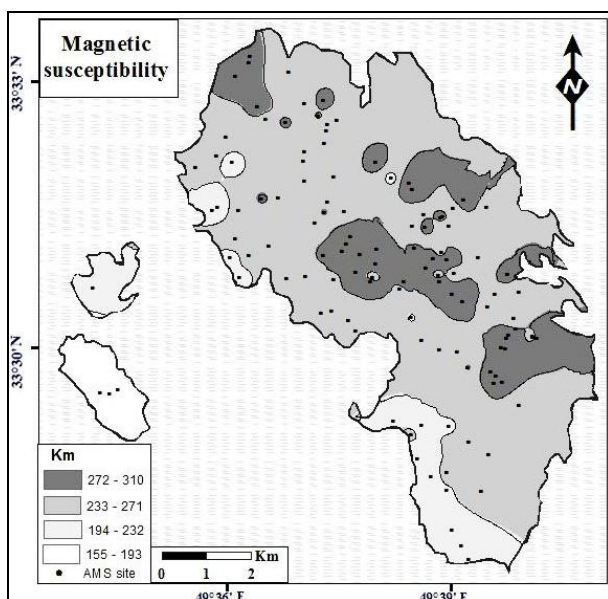
بحث

در ۱۲۱ ایستگاه، نمونه‌برداری به صورت مغزه‌گیری انجام شد (شکل ۱) و در نهایت، ۳۲۵ مغزه به دست آمد. پس از برش مغزه‌ها، ۱۶۱۰ نمونه به طول ۲۲ میلی‌متر تهیه شد. مقادیر Km ، خط‌وارگی مغناطیسی (مقدار برداری $K1$)، قطب برگ‌وارگی مغناطیسی (مقدار برداری $K3$)، انیزوتروپی (ناهمسانی) مغناطیسی بر حسب درصد ($P\%$)، شاخص شکل (T) و همچنین، ترکیب سنگ‌شناسی برای هر ایستگاه در پیوست ۱ ارائه شده است که از داده‌های آن برای ترسیم نقشه‌های فابریک مغناطیسی استفاده شده است. Km از جمله شاخص‌های مهم در بررسی و تفسیر فابریک‌های مغناطیسی است. از این شاخص در

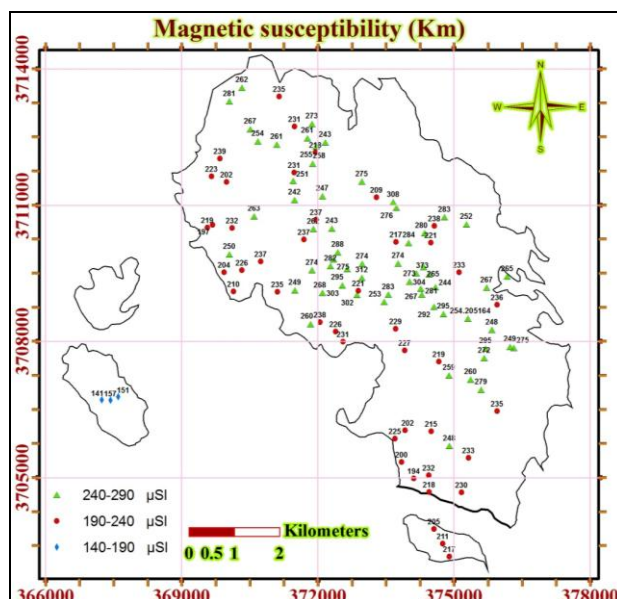
تعبیر و تفسیر ویژگی‌های مختلف از جمله تغییرات فراوانی کانی‌های دارای خواص مغناطیسی و شناخت احتمالی انواع آنها استفاده می‌شود. با توجه به مقادیر پذیرفتاری مغناطیسی میانگین در هر ایستگاه (پیوست ۱) نقشه پذیرفتاری مغناطیسی میانگین حاصل شد (شکل‌های ۳ و ۴). این مقادیر در سه یا چهار گروه دسته‌بندی شدند تا تغییرات آنها به راحتی قابل درک باشد. بررسی همزمان مقادیر عددی Km و بررسی‌های پتروگرافی مقاطع نازک تهیه شده از هر ایستگاه نشان داد که مقدار Km با میزان بیوتیت در درجه اول و ایلمنیت و اسفن در درجه دوم ارتباط مستقیمی دارد. هرچه مقدار کانی‌های نامبرده در سنگ زیادتر باشد مقدار Km بیشتر است. از این رو، بین Km و ترکیب سنگ‌شناسی یک تطابق مثبت وجود دارد (شکل ۵). با توجه به شکل‌های ۳ و ۴ بخش‌های میانی و بخش‌هایی از شرق توده Km بیشتری دارد. کمترین مقدار Km مربوط به گرانیت‌ها، لوکوگرانیت‌ها و لوکوگرانیت‌های تورمالین‌دار است (شکل‌های ۵ و ۶).

مقادیر متوسط پذیرفتاری مغناطیسی میانگین بر حسب μSI برای واحدهای سنگی مختلف سازنده توده گرانیتوئیدی دره‌باغ به شرح زیر است: میگماتیت‌ها ۴۳۷، آنکلاوها ۳۸۶، گرانودیوریت‌ها ۲۵۷، لوکوگرانیت‌ها ۴۷، لوکوگرانیت‌های با تورمالین زیاد ۱۴۸ و لوکوگرانیت‌های کم تورمالین ۴۸ است (شکل‌های ۵ و ۶).

در ضمن، با توجه به تعداد ایستگاه‌های بازدید شده و ترکیب سنگ‌شناسی در هر ایستگاه، فراوانی سنگ‌های سازنده توده گرانیتوئیدی دره‌باغ به صورت درصد فراوانی در مقابل ترکیب سنگ‌شناسی در شکل ۷ نشان داده شده است.

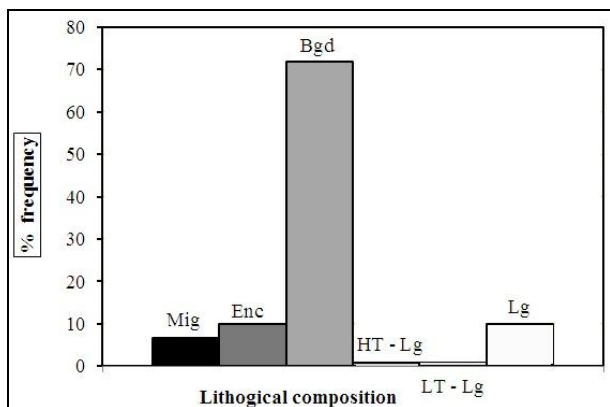
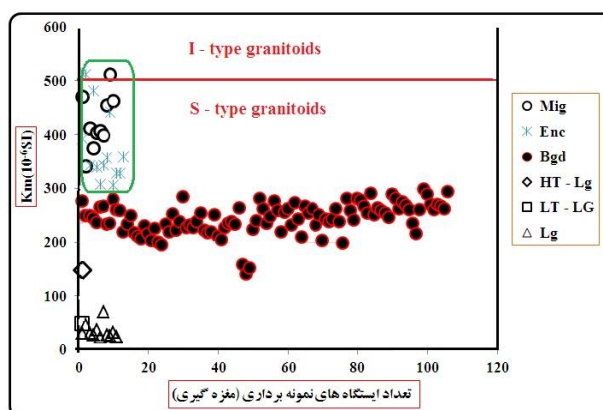


شکل ۴- نقشه تغییرات پذیرفتاری مغناطیسی میانگین به صورت طیف رنگی

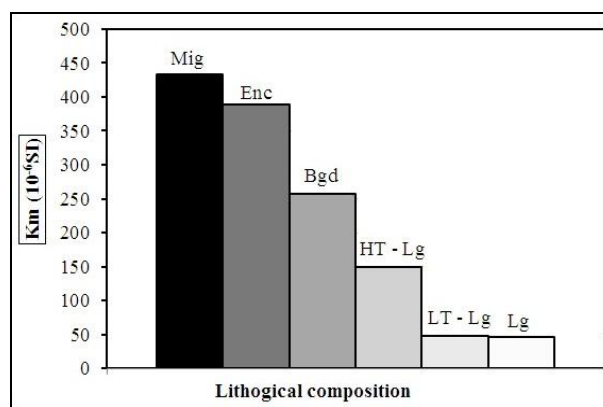


شکل ۳- نقشه نشان دهنده مقادیر پذیرفتاری مغناطیسی میانگین در هر ایستگاه مغزه گیری

شکل ۵- نمودار تغییرات مقادیر Km به صورت میانگین در گروه های سنگی مختلف سازنده توده گرانیتوئیدی دره باغ در مقابل تعداد ایستگاه های نمونه برداری (مغزه گیری). مقادیر عددی Km در تطابقت ها و آنکلاوها بسیار به یکدیگر نزدیک هستند. این واقعیت خود تأیید دیگری بر هم منشأ بودن آنها است. مرز تفکیک گرانیتوئیدهای نوع S و I (از لحاظ مقدار قابلیت پذیرفتاری مغناطیسی) نیز به این نمودار اضافه شده است. با توجه به این نمودار همه نمونه های سنگی مربوط به بخش فلیسک توده گرانیتوئیدی دره باغ در محدوده گرانیتوئیدهای نوع S قرار می گیرد.



شکل ۷- نمودار نشان دهنده تغییرات درصد فراوانی ترکیبات سنگ شناسی سازنده توده گرانیتوئیدی دره باغ



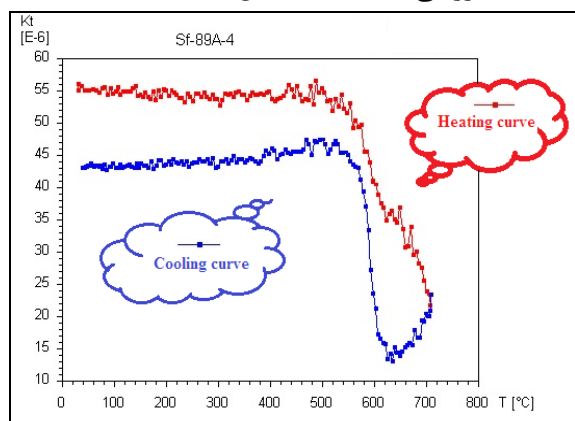
شکل ۶- نمودار تغییرات مقادیر پذیرفتاری مغناطیسی میانگین در گروه های سنگی مختلف توده گرانیتوئیدی دره باغ

■ Mig ■ Enc ■ Bgd ■ HT-Lg ■ LT-Lg ■ Lg (Free of Tourmaline)

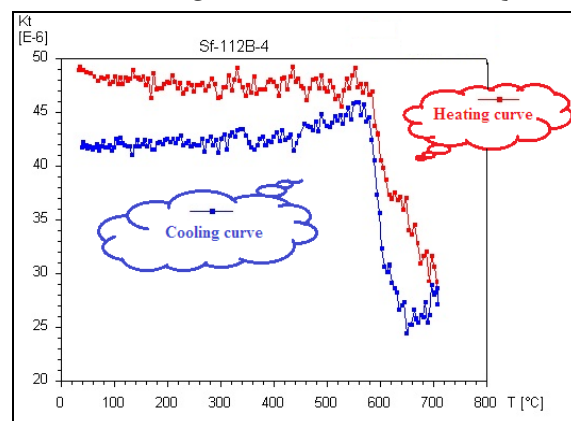
Mig=Migmatite, Enc=Enclave, Bgd=Biotite granodiorite, HT-Lg =High Tourmaline leucogranite, LT-Lg=Low tourmaline leucogranite, Lg=Leucogranite (free of Tourmaline).

منحنی‌های گرم و سرد کردن نمونه‌ها پیرامون دمای ۵۸۰ درجه سانتیگراد افت شدیدی نشان می‌دهد. این مرز دمایی با گذر مگنتیت از دمای کوری خود و تخریب ویژگی‌های مغناطیسی آن مطابقت می‌نماید. نتیجه‌گیری می‌شود که مگنتیت مهم‌ترین کانی فرومغناطیس سهیم در رفتار مغناطیسی نمونه‌های سنگی است. اگرچه با توجه به مشاهدات پتروگرافی و ویژگی‌های سنگ‌شناسی از فراوانی حجمی بسیار اندکی برخوردار است.

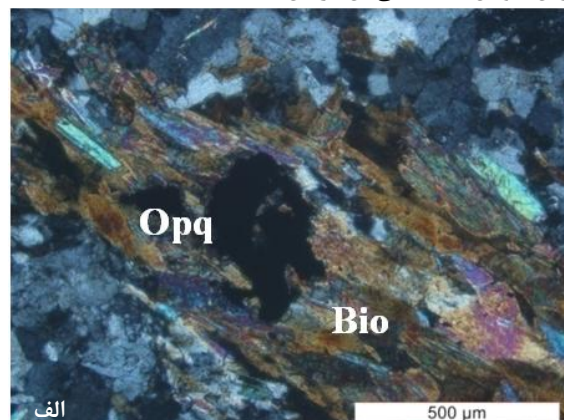
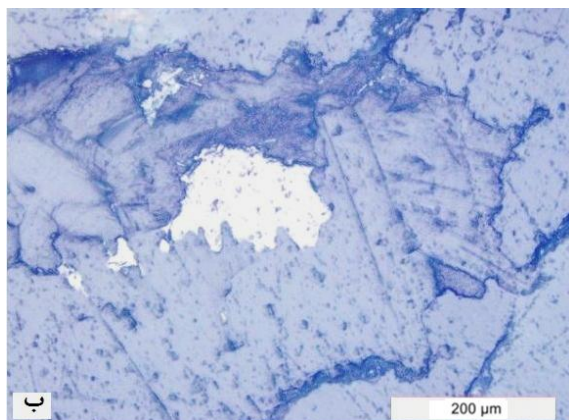
از سوی دیگر، با توجه به ملاحظات سنگ‌شناسی و کانی‌شناسی، بیوتیت مهم‌ترین کانی پارامغناطیس ایجاد کننده رفتارهای مغناطیسی در سنگ‌های بررسی شده است (شکل ۹).



برای تعیین نوع کانی فرومغناطیس سهیم در رفتار مغناطیسی نمونه‌های سنگی توده گرانیتوئیدی دره‌باغ، ۷ نمونه از گروه‌های سنگی متفاوت سازنده این توده انتخاب و پودر شد. در آزمایشگاه سازمان زمین‌شناسی کشور به کمک دستگاه CS3، پذیرفتاری مغناطیسی این نمونه‌ها در طی گرم کردن و سپس سرد کردن اندازه‌گیری شد. دستگاه CS3 نتیجه این اندازه‌گیری‌ها را به صورت نمودارهایی ارائه می‌کند که دو نمونه از آنها در شکل ۸ نشان داده شده است. در این نمودارها منحنی‌ها یا خطوط معرف تغییرات پذیرفتاری مغناطیسی طی گرم کردن و سرد کردن، به ترتیب با Heating curve و Cooling curve مشخص شده‌اند.



شکل ۸- نمودار پذیرفتاری مغناطیسی و دما در نمونه‌های گرانودیوریتی با دستگاه CS3 انجام شده در آزمایشگاه محیط دیرینه سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور. کاهش بسیار شدید پذیرفتاری مغناطیسی در دمای حدود ۵۸۰ درجه سانتیگراد معرف گذر از دمای کوری مگنتیت و از بین بردن خواص مغناطیسی آن در این دما است.

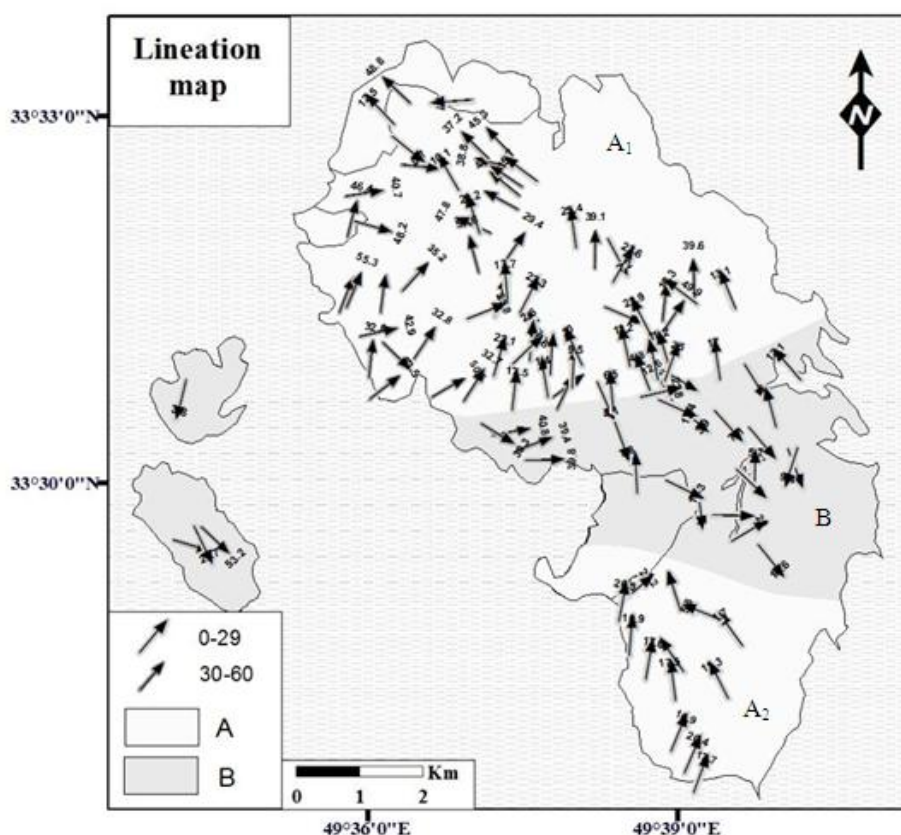


شکل ۹- الف) تصویری از حضور گسترده بیوتیت در گرانودیوریت‌ها، ایلمنیت به صورت کانی اپاک (کدر) در بخش میانی تصویر دیده می‌شود. ب) تصویر میکروسکوپی معرف حضور ایلمنیت در گرانودیوریت‌های توده گرانیتوئیدی دره‌باغ (در نور پلاریزه عادی انعکاسی)

برگیرنده این توده، خطواره‌ها به سمت شمال تا شمال غرب میل دارند. خطواره‌های مغناطیسی شمال غرب توده گرانیتوئیدی درّه‌باغ از میل زیادتری برخوردار است اما در سمت جنوب و مرکز توده میل خطواره‌های مغناطیسی کم است. با نگاهی اجمالی در می‌یابیم که مقدار میل خطواره‌های توده گرانیتوئیدی درّه‌باغ کمتر از ۶۰ درجه است. در بخش میانی توده گرانیتوئیدی درّه‌باغ، در محدوده‌ای به وسعت ۱۴ کیلومتر مربع که ۲۹ ایستگاه را پوشش می‌دهد، خطواره‌های مغناطیسی دارای روند متفاوتی هستند. در این محدوده خطواره‌های مغناطیسی میل اندک به سمت شرق تا جنوب شرق دارد. با توجه به موارد بیان شده توده گرانیتوئیدی درّه‌باغ را به دو قلمروی اصلی به نام‌های A و B می‌توان تقسیم کرد (شکل ۱۰).

نقشه خطواره‌های مغناطیسی بر اساس مشخصات برداری شاخص K_1 یا بزرگترین محور بیضوی مغناطیسی ترسیم می‌شود. در نقشه خطواره‌های مغناطیسی K_1 با نماد $\uparrow$ نمایش داده می‌شود. با توجه به مقادیر میل خطواره‌های مغناطیسی، آنها در سه رده استاندارد: صفر تا ۲۹، ۳۰ تا ۵۹ و ۶۰ تا ۹۰ درجه طبقه‌بندی و سپس با توجه به مقادیر راستا و میل این خطواره‌ها بر روی نقشه خطواره‌های مغناطیسی نمایش داده می‌شود. خطواره‌های مغناطیسی با استفاده از نرم‌افزار Arc GIS 10 ترسیم شده‌اند و مقدار میل آنها در کنار نماد مربوطه درج شده است. بر این اساس، نقشه خطواره‌های مغناطیسی توده گرانیتوئیدی درّه‌باغ حاصل شد (شکل ۱۰).

بر اساس این نقشه، در اکثر مناطق در



شکل ۱۰- نقشه خطواره‌های مغناطیسی توده گرانیتوئیدی درّه‌باغ همراه با نمایش محدوده تعیین شده برای قلمروهای A1، A2 و B

در قلمروی A اکثر خطواره‌های مغناطیسی به سمت شمال-شمال غرب آرایش یافته‌اند. در مقابل، در قلمروی B بیشتر خطواره‌های مغناطیسی دارای میل اندک و به سمت شرق تا جنوب شرق هستند. با توجه به اینکه قلمروی B، به صورت پهنه نسبتاً عریض قلمروی A را قطع می‌کند و در دو طرف قلمروی B، تفاوت‌های ظریف و در عین حال بارزی در روند خطواره‌های مغناطیسی و میل آنها

مشاهده می‌شود، بنابراین، قلمروی A را به دو زیرقلمروی A1 و A2 تقسیم شد. مشخصات یا مشخصات میانگین خطواره‌های مغناطیسی (K1)، قطب برگواره‌های مغناطیسی (K3) و همچنین، برگوارگی مغناطیسی میانگین مربوط به کل نمونه‌های سنگی بررسی شده و قلمروهای A (به طور کلی)، A1، A2، B و لوکوگرانیته‌ها در جدول ۱ ارائه شده است.

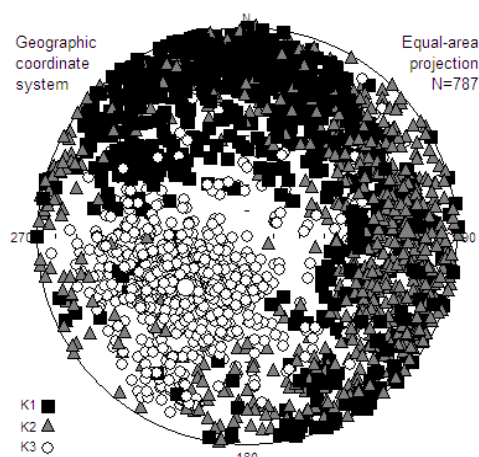
جدول ۱- مقادیر میانگین مختصات K1، K2، K3 و برگوارگی مغناطیسی میانگین برای کل نمونه‌های سنگی مطالعه شده و همچنین، برای قلمروهای تعیین شده: declination=d=راستا (یا روند) و inclination=i=میل

برگوارگی مغناطیسی میانگین	K1		K2		K3		
	K1d	K1i	K2d	K2i	K3d	K3i	
کل نمونه‌ها	345.5	10.5	80.4	24.8	234.2	62.8	N35.8W/27.2 NE
قلمروی A به طور کلی	350.3	17.1	88.6	25.1	229.6	58.9	N40.4W/31.1 NE
قلمروی A1	۳۴۴٫۳	14.6	83.1	29.8	231.0	56.0	N394W/34 NE
قلمروی A2	8.6	15.9	100.1	5.3	208.0	73.2	N62W/16.8 NE
قلمروی B	129.5	19.9	32.2	19.3	261.6	61.6	N9W/28.4 NE
نمونه‌های لوکوگرانیته	315.8	1.2	46.7	37.1	224.2	52.9	N46W/37.1 NE

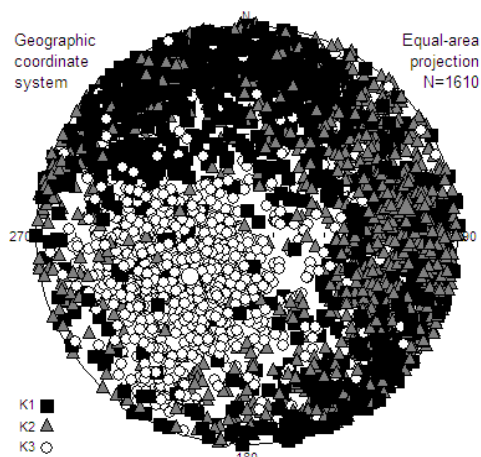
از آنجا که تغییرات سنگ‌شناسی بارزی بین قلمروهای A1، A2 و B مشاهده نمی‌شود، بنابراین، تغییر روند خطواره‌ها در قلمروی B را می‌توان به نفوذ مجدد ماگمای گرانودیوریتی در طی یک فاز تأخیری‌تر نسبت داد. زیرا روندهای کلی A1 و A2 مشابه است (شکل ۱۱) و به نظر می‌رسد که قلمروهای ذکر شده را می‌توان قلمرو واحدی در نظر گرفت. از دیگر شواهد تأیید کننده تزریق مکرر ماگما، حضور دایک‌های نسبتاً عریض گرانیتی است که پهنای آنها به حدود ۲۵ تا ۲۰۰ متر و طول ۱۰۰۰ متر می‌رسد. دایک‌های گرانیتی با رخنمون بسیار بارز گرانودیوریت‌ها را قطع می‌کند. گرانیت‌ها نسبت به گرانودیوریت‌ها، از لحاظ کانی‌شناسی و شدت دگرشکلی تفاوت بارزی نشان می‌دهد. آثار دگرشکلی در گرانیت‌ها نیز به صورت ساب‌گرین

شدن و جهت‌یافتگی ترجیحی کانی‌ها مشاهده می‌شود.

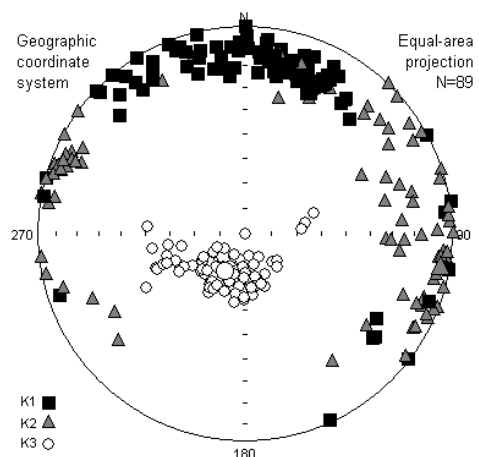
کوچک‌ترین محور بیضوی مغناطیسی یا K3، منطبق بر قطب برگواره‌های مغناطیسی است. بر اساس مشخصات K3 (قطب برگواره‌های مغناطیسی) ارائه شده در پیوست ۱ و تجزیه و تحلیل آنها و انجام مراحل مربوط به محاسبه و ترسیم برگواره‌های مغناطیسی، نقشه برگواره‌های مغناطیسی توده گرانیتوئیدی دره‌باغ ترسیم شد (شکل ۱۲). بر خلاف وضعیت خطواره‌های مغناطیسی، برگواره‌های مغناطیسی در کل توده از وضعیت تقریباً یکسانی برخوردار است. این امر بیانگر آن است که سازوکار کلی تشکیل این توده گرانیتوئیدی یکسان، اما طی دوره تشکیل خود با تغییرات اندکی همراه بوده است.



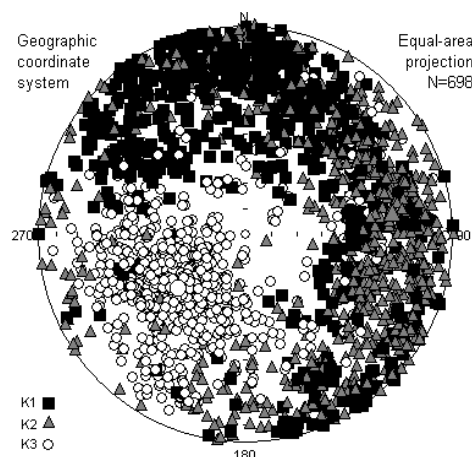
ب- استریوگرام مربوط به کل قلمروی A (۷۸۷ نمونه) برای گرانودیوریت‌ها



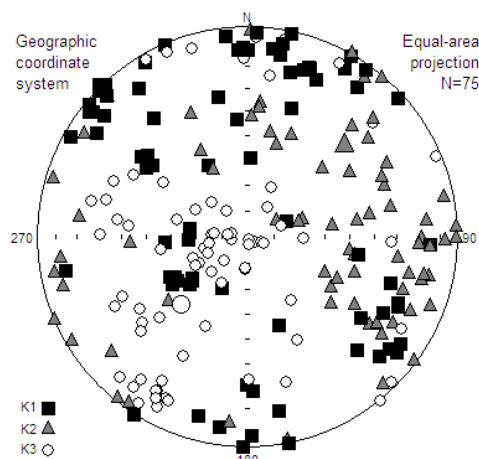
الف- استریوگرام مربوط به کل توده گرانیتوئیدی دره‌باغ (۱۶۱۰ نمونه) برای گرانودیوریت‌ها و لوکوگرانیت‌ها



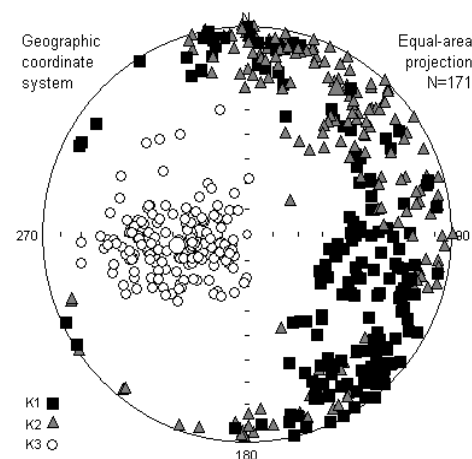
د- استریوگرام مربوط به قلمروی A2 (۸۹ نمونه) برای گرانودیوریت‌ها



ج- استریوگرام مربوط به قلمروی A1 (۶۹۸ نمونه) برای گرانودیوریت‌ها



و- استریوگرام مربوط به نمونه‌های لوکوگرانیتی (۷۵ نمونه)



ه- استریوگرام مربوط به قلمروی B (برای گرانودیوریت‌ها)

شکل ۱۱- استریوگرام‌های مربوط به کل نمونه‌های سنگی بررسی شده، کل قلمروی A، قلمروهای A1، A2 و B. استریوگرام مربوط به نمونه‌های لوکوگرانیتی (۷۵ نمونه) نیز در این شکل نشان داده شده است.

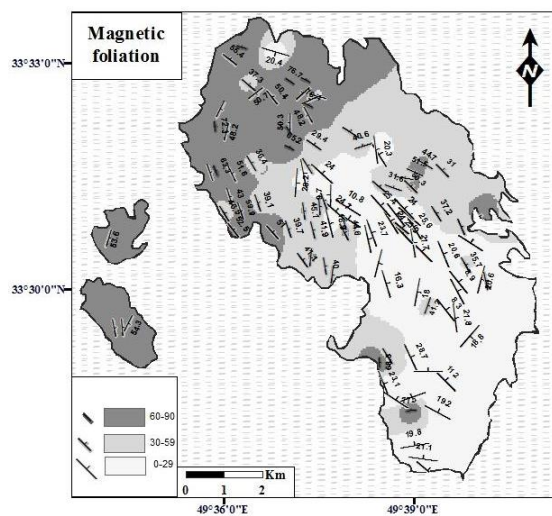
درصد انیزوتروپی معرف رابطه بین K1 به عنوان حداکثر مقدار پذیرفتاری مغناطیسی و K3 معرف حداقل مقدار پذیرفتاری مغناطیسی است و طبق رابطه ۱ محاسبه می‌شود.

$$P(\%) = \frac{(K1-K3)}{K3} \times 100 \quad \text{رابطه ۱}$$

برای فهم تغییرات مقادیر در محدوده توده نفوذی بررسی شده، با انتقال آنها به هر ایستگاه، نقشه تغییرات این شاخص به صورت عددی حاصل و در یک دسته‌بندی دلخواه در چهار دسته مرتب شد (شکل ۱۳).

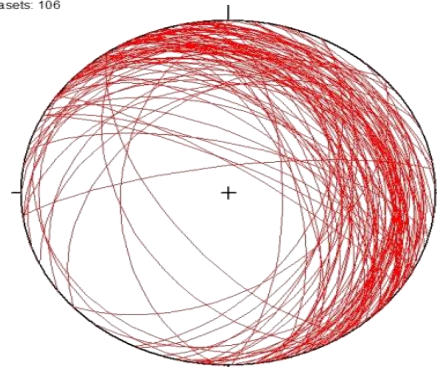
دامنه تغییرات درصد انیزوتروپی در توده گرانیتوئیدی دره‌باغ بین ۱/۹ تا ۹/۸۱ درصد متغیر است. از این نقشه به راحتی می‌توان دریافت که در توده بررسی شده، درصد انیزوتروپی مغناطیسی از سمت غرب به شرق افزایش یافته است. توجه بیشتر و دقیق‌تر به ویژگی‌های میکروسکوپی سنگ‌های سازنده توده گرانیتوئیدی دره‌باغ نشان می‌دهد که از سمت غرب به شرق، شدت دگرشکلی افزایش یافته است. شدت این دگرشکلی با افزایش شدت و توسعه ساب‌گرین شدن (دانه‌ریز شدن) و ایجاد ماکل‌های مکانیکی در بیوتیت و پلاژیوکلاز و تشدید خاموشی موجی در کوارتز، پلاژیوکلاز، ارتوکلاز و بیوتیت مشخص می‌شود.

اگر مقدار T کمتر از صفر باشد بیانگر آن است که بیضوی مغناطیسی سیگاری، دوکی یا خطی (prolate) شکل است و اگر مقدار T مثبت یا بیشتر از صفر باشد مبین آن است که شکل بیضوی مغناطیسی کلوجه‌ای یا صفحه‌ای شکل (oblate) است. مقادیر عددی شاخص شکل T به موقعیت هر ایستگاه نسبت داده و نقشه تغییرات مقادیر T حاصل شد (شکل ۱۴). مقادیر شاخص T

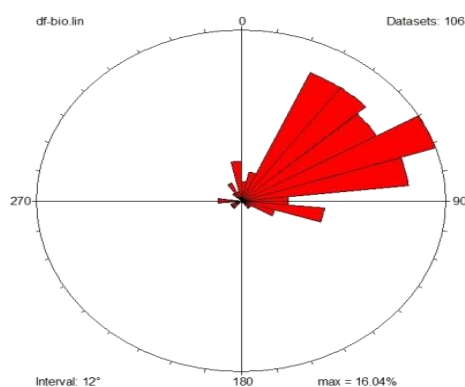


الف

bio-df.pln
Datasets: 106



ب

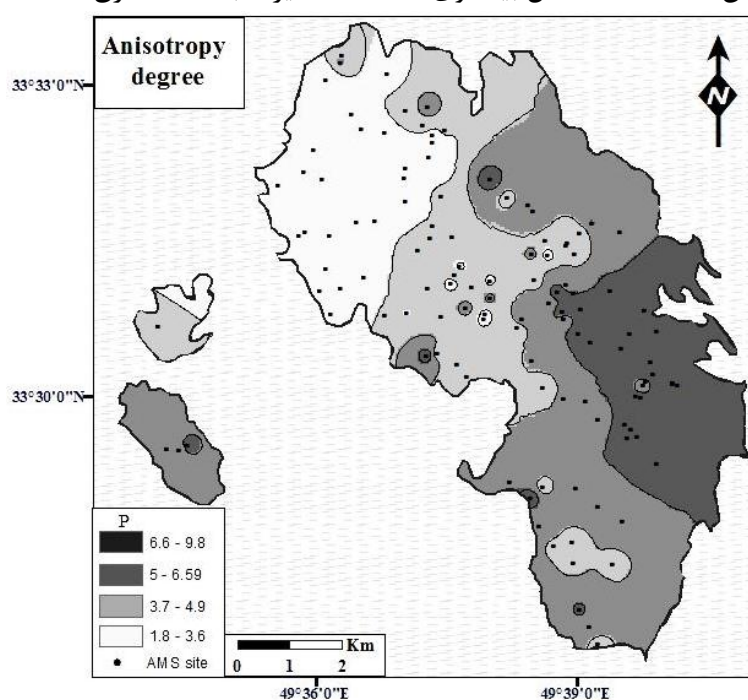


ج

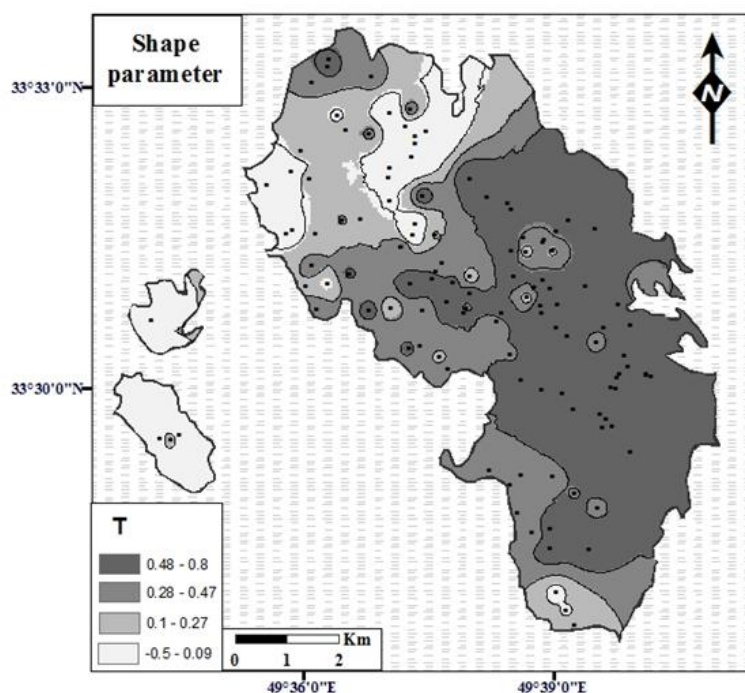
شکل ۱۲- الف) نقشه نشان‌دهنده وضعیت برگواره‌های مغناطیسی در توده گرانیتوئیدی دره‌باغ. اکثر برگواره‌ها دارای امتداد شمالی-جنوبی تا شمال‌غربی-جنوب‌شرقی است و شیب آنها نیز بیشتر به سمت شرق و شمال شرق است. ب) استریوگرام نشان‌دهنده وضعیت برگواره‌های مغناطیسی. ج) رز دیاگرام امتدادی برگواره‌های مغناطیسی.

در توده گرانیتوئیدی دره‌باغ بین 0.586 - تا 0.793 متغیر است. با توجه به این نقشه استنباط می‌شود که مقدار شاخص T از سمت غرب به شرق توده به سمت مقادیر مثبت افزایش یافته است. این امر بیانگر آن است که شکل بیضوی

مغناطیسی توده گرانیتوئیدی دره‌باغ در محدوده شرقی بیشتر به شکل کلوچه‌ای شکل و با شدت بیشتر دگرشکلی در این ناحیه سازگار است. افزایش مقادیر T از غرب به شرق، با افزایش مقادیر P به سمت شرق کاملاً منطبق است.



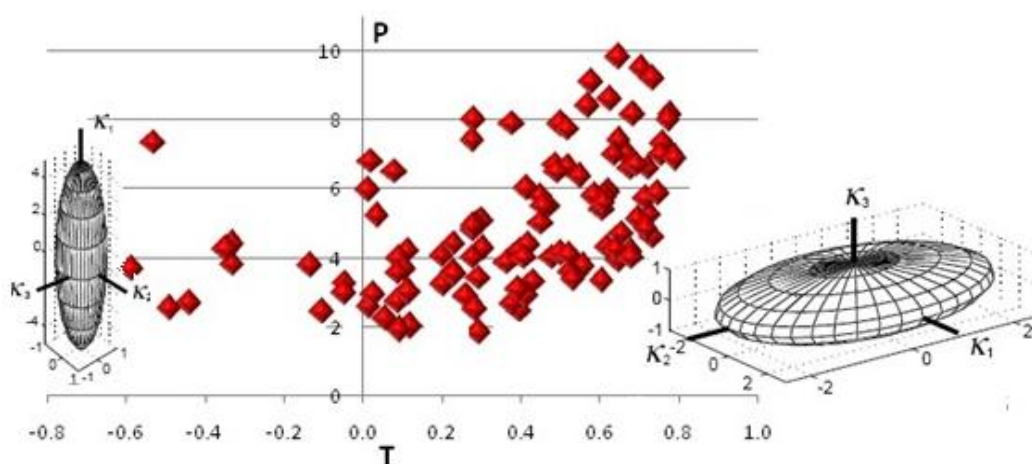
شکل ۱۳- نقشه کنتور بندی تغییرات درصد انیزوتروپی (ناهمسانی) مغناطیسی



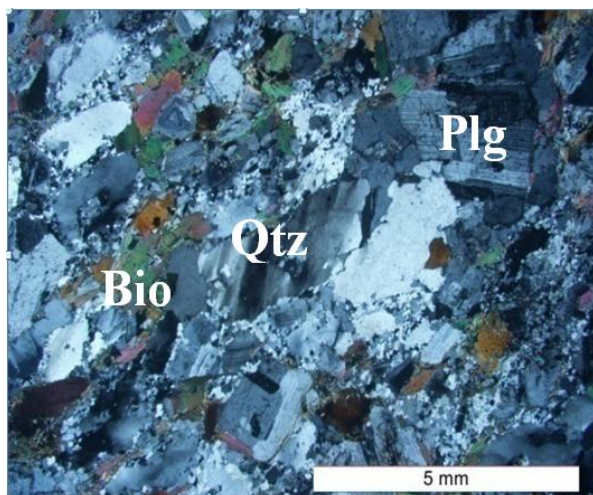
شکل ۱۴- نقشه کنتور بندی تغییرات شاخص شکل

(شکل ۱۶). انطباق مثبت بین P و T این موضوع را تأیید می‌کند. کلوچه‌ای شکل بودن بخش عمده بیضوی‌های مغناطیسی مبین آن است که دگرشکلی بیشتر به صورت تشدید برگوارگی تجلی پیدا کرده است.

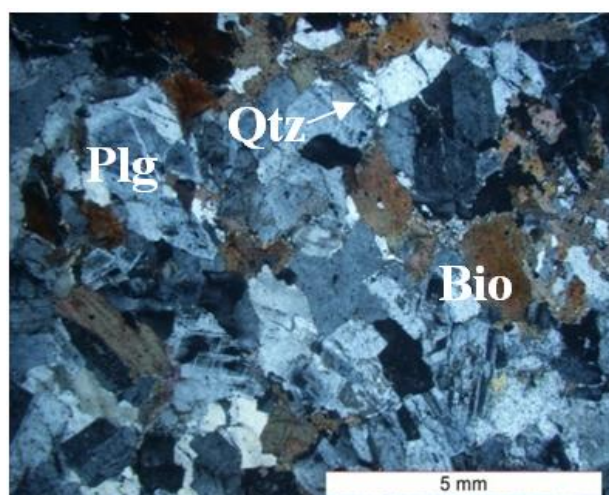
شکل ۱۵ انطباق مثبت این دو شاخص را نشان می‌دهد. در مجموع شدت دگرشکلی تحمیل شده بر توده گرانیتوئیدی دره‌باغ از سمت غرب به شرق افزایش یافته است. این امر با شواهد صحرایی و میکروسکوپی تأیید می‌شود



شکل ۱۵- نمودار P در برابر T . توجه نمایید اکثر مقادیر T ، بیش از صفر و در محدوده $0 < T$ قرار می‌گیرد.



ب



الف

شکل ۱۶- تصاویر میکروسکوپی نشان‌دهنده تفاوت ریزساخت‌ها در غرب و شرق توده گرانیتوئیدی دره‌باغ.

الف) بافت ماگمایی معرف وجود تنش و استرین بسیار کم در بخش غربی توده گرانیتوئیدی دره‌باغ.

ب) بافت یا فابریک ساب‌سالدوس دمای بالا معرف ساب‌گرین شدن شدید و ایجاد خاموشی موجی شدید در کوارتز، پلاژیوکلاز، ارتوکلاز، میکروکلین و بیوتیت در بخش شرقی توده گرانیتوئیدی دره‌باغ

بررسی ریزساخت‌ها در مطالعه تحولات سنگ‌شناسی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است به طوری که خود به شاخه‌ای از علم زمین‌شناسی تبدیل شده است و با عنوان پتروفاوریک یا میکروتکتونیک شناخته می‌شود. کتاب‌های میکروتکتونیک (Passchier and Trouw, 2005)، راهنمای عملی مطالعه ساخت‌های میکروسکوپی (Vernon, 2004) و اطلس سنگ‌های میلونیتی (Trouw et al., 2010) از جمله کتاب‌های معتبر و با ارزشی است که در این راستا به چاپ رسیده و منتشر شده است. در ضمن، پژوهش‌های فراوانی توسط Canon-Tapia و Castro (۲۰۰۴)، Poland و همکاران (Lopez de Luchi, ۲۰۰۴) و همکاران (۲۰۱۰) و ... در این زمینه منتشر شده است.

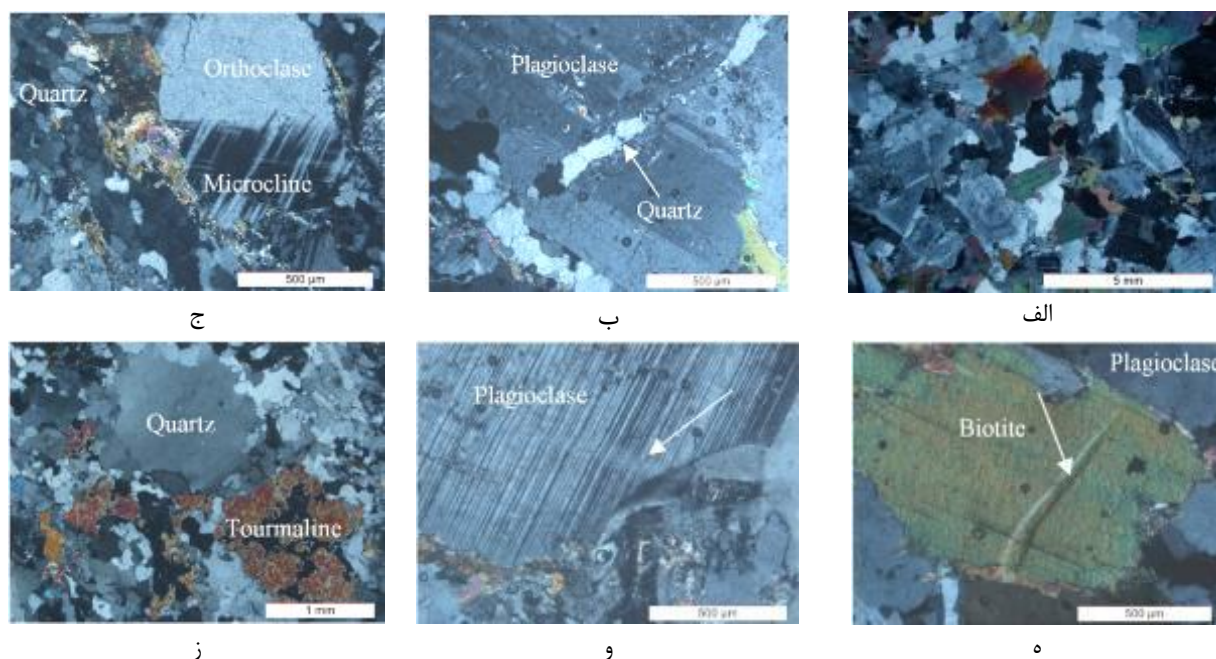
مطالعه ریزساخت‌های توده گرانیتوئیدی دره‌باغ نشان می‌دهد که دگرشکلی ساب‌سالدوس دما بالا بخش اعظم این توده را تحت تأثیر قرار داده است. در سنگ‌های برخی مناطق، شواهد وقوع دگرشکلی ساب‌ماگمایی نیز مشاهده می‌شود. ساب‌گرین شدن شدید کوارتز، بیوتیت، پلاژیوکلاز، ارتوکلاز و تورمالین؛ پیچ و تاب‌خوردگی (کینک‌باند) بیوتیت‌ها؛ ماکل مکانیکی در پلاژیوکلاز؛ ایجاد اشکال فلس ماهی (میکاماهی) در بیوتیت‌ها؛ اشکال زیگمایی و دلتایی در کوارتز، پلاژیوکلاز و ارتوکلاز؛ ساخت شطرنجی و خاموشی موجی در کوارتز؛ قطعه قطعه شدن بلورهای ریز آپاتیت و تبدیل ارتوکلاز به میکروکلین از ویژگی‌های بارز دگرشکلی ساب‌سالدوس است که در مقاطع نازک تهیه شده از این توده نفوذی مشاهده می‌شود.

رگچه‌های پر شده از کوارتز موجود در پلاژیوکلازها و ارتوکلاز که به حوضچه‌هایی

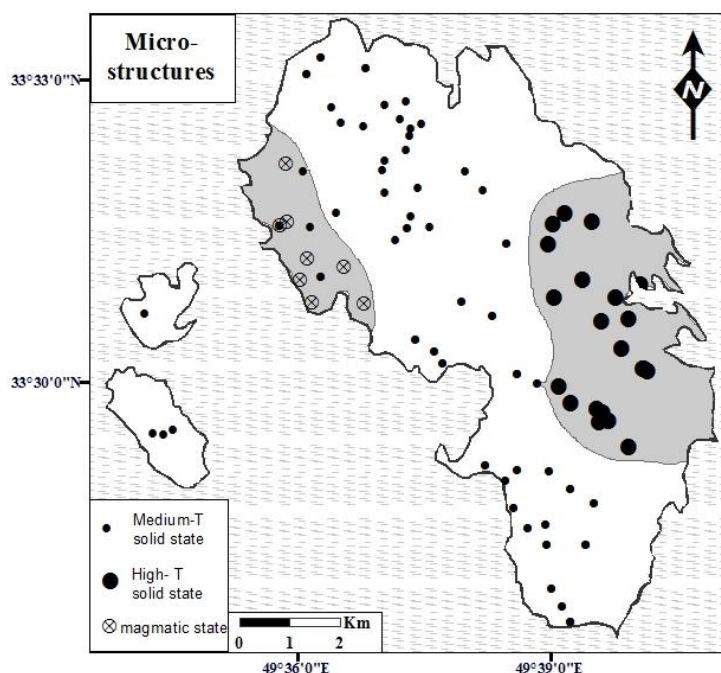
(تجمعاتی) از کوارتز منتهی می‌شود از شواهد بارز دگرشکلی ساب‌ماگمایی است. در طی دگرشکلی ساب‌ماگمایی و به ویژه ساب‌سالدوس، سیالات گرمابی، توده نفوذی دره‌باغ را در مقیاس میکروسکوپی تحت تأثیر قرار داده‌اند، شواهد بارز آن عبارت است از: تبدیل بیوتیت به مسکوویت (مسکوویت‌زایی)، کلریت و اسفن، پلاژیوکلاز به اپیدوت و سیریسیت و ارتوکلاز به سیریسیت و مسکوویت (مسکوویت‌زایی)، تشکیل رگه‌ها و رگچه‌های تورمالین و گاه تجمعات موضعی تورمالین، سیریسیتی شدن شدید آندالوزیت‌ها و حضور تورمالین در آنکلاوهای متاپلیتی.

ریزساخت‌ها در واقع منعکس کننده شدت تنش تحمیل شده بر توده‌های نفوذی است و در ضمن، می‌توانند شرایط دما-فشار حاکم بر محیط اعمال تنش‌های یاد شده را بازگو کند. در تصاویر ارائه شده در شکل ۱۷ گوشه‌ای از این ریزساخت‌ها به نمایش گذاشته شده است.

بر اساس شواهد ذکر شده، دگرشکلی‌های ساب‌سالدوس و ساب‌ماگمایی تحمیل شده بر توده گرانیتوئیدی دره‌باغ در دماهای نسبتاً بالا و نزدیک به دمای سالدوس اتفاق افتاده‌اند (دمای حدود ۵۵۰ تا ۶۸۰ درجه سانتیگراد و فشار حدود ۲ کیلو بار). بر اساس مشاهدات میکروسکوپی شدت دگرشکلی از سمت غرب به شرق این توده افزایش یافته و در سمت شرق توده به حداکثر مقدار خود رسیده است (شکل ۱۸). نتایج حاصل از بررسی نقشه‌های تغییرات مقادیر اینزوتروپی مغناطیسی و شاخص شکل و تطابق مثبت بین آنها، این امر را تأیید می‌کند. در ضمن، دگرشکلی و توسعه شدید برگوارگی از سمت غرب به شرق نیز مؤید موارد فوق است.



شکل ۱۷- تصاویر میکروسکوپی: الف) ساخت ماگمایی، ب) ساخت ساب‌ماگمایی در پلاژیوکلاز، ج) تبدیل ارتوز به میکروکلین در اثر تنش‌های تحمیل شده، ه) ایجاد ماکل مکانیکی در بیوتیت، و) ماکل مکانیکی ایجاد شده در پلاژیوکلاز، ز) ساب‌گرین شدن تورمالین و کوارتز و پرشدن شکستگی‌های تورمالین توسط رگه‌های کوارتزی در توده گرانیتوئیدی دره‌باغ.



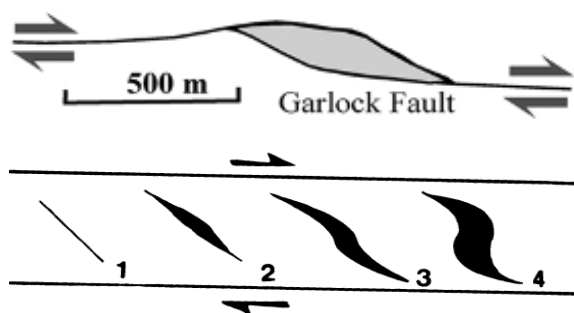
شکل ۱۸- نقشه نشان‌دهنده توزیع انواع ریزساخت‌های مشاهده شده در مقاطع نازک تهیه شده از مغزه‌های به دست آمده در نقاط مختلف توده گرانیتوئیدی دره‌باغ.

مربوط به هر شاخص مغناطیسی و زمین‌شناسی به دست آمد. در منطقه بررسی شده تنش‌های

با اتمام بررسی‌های فابریک‌های مغناطیسی و با توجه به مشاهدات صحرایی در منطقه نقشه‌های

پرداخته و بر آن صحنه گذاشته است. این شرایط جایگیری با نتایج حاصل از بررسی‌های فابریک‌های مغناطیسی توده گرانیتوئیدی دره‌باغ بسیار سازگار است.

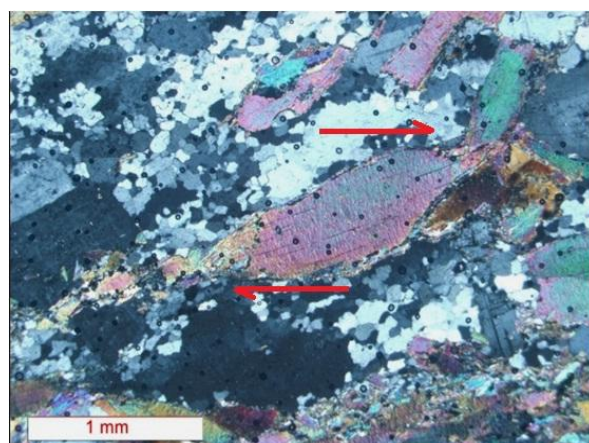
بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که توده بررسی شده تحت تأثیر یک تنش ترا فشارشی راست‌بر با روند شمال‌غرب-جنوب‌شرقی در منطقه نفوذ کرده است و با شیب بسیار کم شبیه یک سیل بزرگ جای گرفته است. با توجه به وضعیت خطواره‌های مغناطیسی مشاهده می‌شود که میل خطواره‌های مغناطیسی در حاشیه‌های غربی و جنوب توده بیشتر است. این موضوع مشخص می‌سازد که ماگمای سازنده این توده از حاشیه‌های غربی و جنوبی به سمت بالا صعود کرده است. با توجه به مجموع ملاحظات زمین‌شناسی، می‌توان یک ساختار سیل مانند بزرگ برای مدل جایگیری توده در نظر گرفت که پهنه تغذیه کننده آن در حاشیه غربی و جنوبی توده گرانیتوئیدی دره‌باغ واقع است. حضور میگماتیت‌ها، توده‌های کوچک مقیاس دیوریتی و گسیختگی دیوریت‌ها در این منطقه، مؤید اظهارات فوق است (شکل ۲۰).



ب

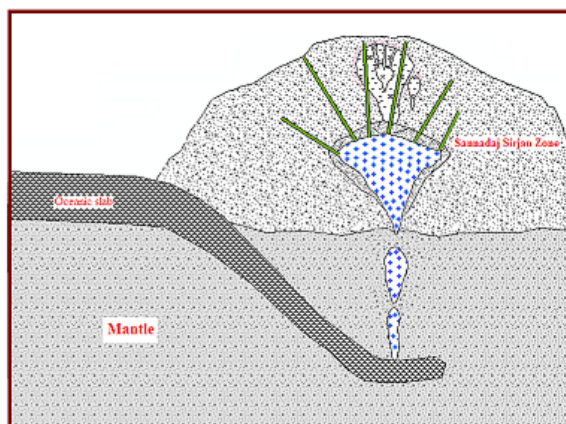
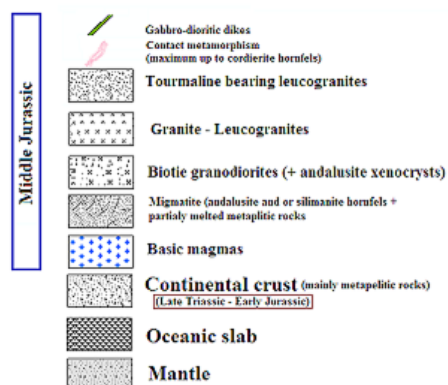
تکتونیکی تقریباً به طور پیوسته به صورت کششی یا تراکمی (فشارشی) در کل طول دوره تشکیل توده گرانیتوئیدی دره‌باغ تأثیرگذار بوده‌اند. از ساختارهای میکروسکوپی میکاهایی که تحت تأثیر تنش به صورت میکاماهی ظاهر شده‌اند سوی برشی پهنه‌های برشی استنباط می‌شود. همان طور که در شکل ۱۹-الف مشاهده می‌شود میکاماهی‌های موجود در پهنه‌های برشی توده گرانیتوئیدی دره‌باغ، معرف سوی برشی راست‌گرد است. در شکل ۱۹-ب حوضه‌های کششی جدایشی (Pull-apart) مشاهده می‌شود. این ساختارها زمانی تشکیل می‌شود که بین قطعات گسلی، کشش حاکم باشد (Kim et al., 2004). فضای کششی که در این ارتباط تشکیل می‌شود، محیط مناسبی برای جایگیری توده‌های گرانیتوئیدی است.

طبق مدل Castro (۱۹۸۶) اعمال نیروی برشی راست‌بر در منطقه فضای بازشدگی Z شکل در پهنه گسل امتداد لغز راست‌بر ایجاد و در نتیجه مکان مناسبی برای جایگیری توده‌های گرانیتوئیدی حاصل می‌شود (Mohajjel and Fergusson, 2000). Mohajjel (۲۰۰۵) به تفصیل به این موضوع

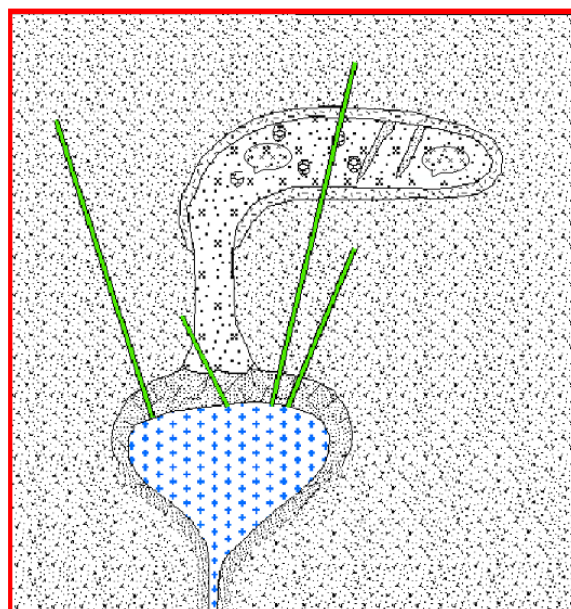
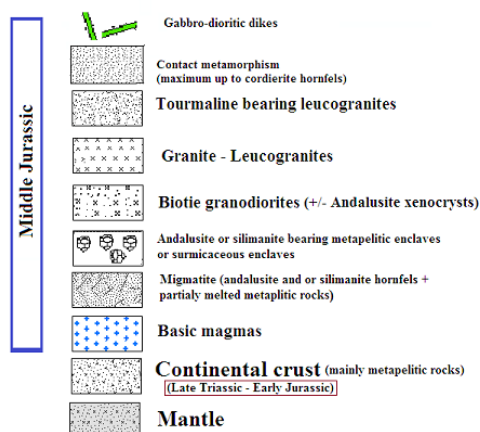


الف

شکل ۱۹-الف) تصویر میکروسکوپی نمونه گرانودیوریتی. بیوتیت و مسکوویت‌ها تحت تأثیر تنش، به میکاماهیت تبدیل می‌شود که می‌تواند جهت نیروی برشی را مشخص سازد. ب) حوضه‌های کششی جدایشی به عنوان فضا یا محیطی مناسب برای جایگیری توده گرانیتوئیدی دره‌باغ. اقتباس از مدل Kim و همکاران (۲۰۰۴)



الف



ب

شکل ۲۰- الف) الگوی تکتونوماگمایی ارائه شده برای توده گرانیتوئیدی دره‌باغ با استفاده از تلفیق بررسی‌های سنگ‌شناسی و ژئوشیمیایی. ب) الگوی تکتونوماگمایی ارائه شده برای توده گرانیتوئیدی دره‌باغ با استفاده بررسی شاخص‌های مغناطیسی و در نظر گرفتن ویژگی‌های سنگ‌شناسی و ژئوشیمیایی

مغناطیسی مبتنی بر مقادیر برداری K1 و الگوی توزیع آنها معرف آن است که این توده گرانیتوئیدی به سه قلمرو و زیرقلمرو A1، A2 و B قابل تقسیم است. در زیرقلمروهای A1 و A2 (یا به عبارت کلی‌تر قلمروی A) خطواره‌های مغناطیسی بیشتر به سمت شمال آرایش نشان می‌دهد. در حاشیه جنوبی و غربی این توده نفوذی

نتیجه‌گیری

بر اساس اندازه‌گیری‌های انجام شده، مقادیر پذیرفتاری مغناطیسی بر حسب μSI برای واحدهای سنگی مختلف سازنده توده گرانیتوئیدی دره‌باغ عبارتند از: گرانودیوریت‌ها (۲۸۵)، لوکوگرانیت‌ها (۴۷)، میگماتیت‌ها (۴۳۴) و آنکلاوهای سورمیکاسه (۳۸۹). خطواره‌های

چندانی نداشته است. با توجه به مبانی تعبیر و تفسیر شاخص‌های مغناطیسی، توده گرانیتوئیدی درّه‌باغ به شکل یک سیل نسبتاً بزرگ جای گرفته است. در ضمن، جایگیری این توده در ارتباط با عملکرد یک پهنه برشی راست‌بر در یک رژیم ترفشارشی (transpression) انجام شده است. نقشه‌های نشان‌دهنده تغییرات مقادیر P و T و همچنین مطالعه ریزساخت‌ها نشان می‌دهد که دگرشکلی از سمت غرب به شرق افزایش یافته است. این امر توسط تشدید ساب‌گرین شدن، ایجاد ماکل مکانیکی، تغییر سیستم کانی‌شناسی (تبدیل ارتوز (با سیستم بلورشناسی منوکلینیک) به میکروکلین (با سیستم بلورشناسی تری‌کلینیک)، بروز خاموشی شدید و ... تأیید می‌شود.

سپاسگزاری

نگارندگان از آقای دکتر حبیب علی‌محمدیان که در انجام آزمایش‌های ترمومگنتومتري و استفاده از تسهیلات آزمایشگاه محیط دیرینه و مغناطیس سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور یاری نمودند، تشکر و قدردانی می‌نمایند.

خطواره‌های مغناطیسی دارای میل بیشتری است. به سمت شرق میل خطواره‌های مغناطیسی کاهش می‌یابد. مشخصات میانگین کلی خطواره‌های مغناطیسی در قلمروی A برابر است با: ۳۵۰/۱۷ در بخش میانی توده گرانیتوئیدی درّه‌باغ (قلمروی B) خطواره‌های مغناطیسی بیشتر به سمت شرق و جنوب‌شرق آرایش نشان می‌دهد و دارای میانگین کلی ۱۳۰/۲۰ است.

از آنجا که خطواره‌های مغناطیسی نشان‌دهنده الگوی جریان توزیع ماگما است، می‌توان نتیجه گرفت که این دو قلمرو (A و B) با اندکی تأخیر زمانی نسبت به یکدیگر جای گرفته‌اند. بر اساس همگرایی و همسانی خطواره‌های مغناطیسی در قلمروهای A1 و A2 و شواهد ناشی از تزریق مکرر ماگما در قلمروی B (قطع شدن این قلمرو توسط گرانیت‌های تورمالین‌دار) جایگیری قلمروی A بر B تقدم داشته است.

در ضمن، الگوی توزیع برگواره‌های مغناطیسی در هر دو قلمرو یکسان است. این امر نشان می‌دهد که سازوکار غالب مؤثر در جایگیری توده گرانیتوئیدی درّه‌باغ در طول دوره تشکیل آن تغییر

منابع

- Abdollahi, S. (2008) Petrography and geochemistry of intrusive pluton of south of Molataleb village. MSc thesis, University of Isfahan, Isfahan, Iran (in Persian).
- Ahmadi Khalaji, A., Esmaily, D., Valizadeh, M. V. and Rahimpour, H. (2007) Petrology and geochemistry of the granitoid complex of Boroujerd, Sanandaj-Sirjan zone, Western Iran. *Journal of Asian Earth Sciences* 29: 859-877.
- Badallo, S. (2012) Investigation on the emplacement mechanism of the Gole Zarde granitoidic pluton (north of Aligoudarz) by AMS method. MSc thesis, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran (in Persian).
- Baghbani, S. (2012) Detailed investigation of Petrology and geochemistry Azna-Aligoodarz granitoidic plots (East of Lorestan). MSc thesis, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran (in Persian).
- Bagherian, S. and Khakzad, A. (2001) Petrogenesis of granitoid massif of Molataleb area (North Aligoudarz). *Scientific Quaternary Journal of Geosciences* 41-42: 80-83 (in Persian).
- Baharifar, A., Moinvaziri, H., Bellon, H. and Pique, A. (2004) The crystalline complexes of Hamadan (Sanandaj-Sirjan zone, western Iran): metasedimentary Mesozoic sequences

- affected by Late Cretaceous tectono-metamorphic and plutonic events. *C. R. Geoscience* 336: 1443-1452.
- Bouchez, J. L. (1997) Magnetic susceptibility anisotropy and fabrics in granites. *Earth and Planetary Science Letters* 330: 1-14.
- Canon-Tapia, E. and Castro, J. (2004) AMS measurements on obsidian from the Inyo Domes, CA: a comparison of magnetic and mineral preferred orientation fabrics. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 134: 169-182.
- Castro, A. (1986) Structural pattern ascent model in the Central Extremadura batholith, Hercynian belt, Spain. *Journal of Structural Geology* 8: 633-645.
- Darvishi, E. and Bagheryan, S. (2008) The introduction of facade and decorative rocks resources in Aligoudarz. *Journal of Applied Geology* 4(3):162-170 (in Persian).
- Davoudian, A. R., Genser, J., Dachs, E. and Shabanian, N. (2008) Petrology of eclogites from north of Shahrekord, Sanandaj-Sirjan zone, Iran. *Mineralogy and Petrology* 92: 393-413.
- Esna-Ashari, A. (2011) Petrology and geochemistry of granitoid complex located north and northwest of Aligoodarz area, Sanandaj-Sirjan zone, western Iran. PhD thesis, University of Tehran, Tehran, Iran (in Persian).
- Esna-Ashari, A., Hassanzadeh, J. and Valizadeh, M. V. (2011a) Geochemistry of microgranular enclaves in Aligoodarz Jurassic arc pluton, western Iran: Implications for enclave generation by rapid crystallization of cogenetic granitoid magma. *Mineralogy and Petrology* 101: 195-216.
- Esna-Ashari, A., Tiepolo, M., Valizadeh, M. V., Hassanzadeh, J. and Sepahi, A. A. (2012) Geochemistry and zircon U-Pb geochronology of Aligoodarz granitoid complex Sanandaj-Sirjan zone, Iran, *Journal of Asian Earth Sciences* 43: 11-22.
- Esna-Ashari, A., Valizadeh, M. V., Sepahi, A. A., and Soltan, A., (2011b) Petrology and geochemistry of Aligoodarz granitoid, Western Iran: implications for petrogenetic relation with Boroujerd and Dehno granitoids. *Geopersia* 3(2): 67-86.
- Gavanji, N. (2010) Investigation on the emplacement mechanism of the south of Zafarghand (Ardestan) granitoidic pluton by AMS method. MSc thesis, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran (in Persian).
- Ghalamghash, J. (2002) Petrology and emplacement mechanism of Oshnavieh granitoid plutons. PhD thesis, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran (in Persian).
- Ghalamghash, J., Bouchez, J. L., Vosoughi-Abedini, M. and Nédélec, A. (2009) The Urumieh plutonic complex (NW Iran): record of the geodynamic evolution of the Sanandaj-Sirjan zone during Cretaceous times- Part II: magnetic fabrics and plate tectonic reconstruction, *Journal of Asian Earth Sciences* 36: 303-317.
- Ghasemi, H. (1992) Investigation of petrology and geology of metamorphic and igneous rocks of the Bouin-Miandasht pluton (SE Aligoudarz). MSc thesis, University of Tehran, Tehran, Iran (in Persian).
- Hernandez, F. M. (2002) Determination of fundamental magnetic anisotropy parameters in rock-forming minerals and their contributions to the magnetic fabric of rocks. PhD Thesis, Lic Physics, Universidad Complutense de Madrid, Spain.
- Kim, Y. S., Peacock, D. C. P. and Sanderson, J. (2004) Fault damage zones. *Journal of Structural Geology* 26: 503-517.

- Lopez de Luchi, M. G., Rapalini, A. E., and Tomezzoli, R. N. (2010) Magnetic fabric and microstructures of Late Paleozoic granitoids from the North Patagonian Massif: Evidence of a collision between Patagonia and Gondwana?. *Tectonophysics* 494: 118-137.
- Mardani, M., Sadeghian, M., Shekari, S. and Badallo, S. (2010) Investigation on the variation of anisotropy of magnetic susceptibility in Azna granitoid pluton. 29th symposium on geosciences. Geological Survey of Iran, Tehran, Iran (in Persian).
- Mohajjel, M. (2005) The effect of transpression tectonic in the producing space for intrusive granitoid plutons of Sanandaj-Sirjan zone (northwest part). 9th Symposium of Geological Society of Iran. Tarbiat Moallem University, Tehran, Iran (in Persian).
- Mohajjel, M. and Fergusson, C. L. (2000) Dextral transpression in Late Cretaceous continental collision, Sanandaj-Sirjan zone western Iran. *Journal of structural geology* 22: 1125-1139.
- Passchier, C. W. and Trouw, R. A. J. (2005) *Microtectonics*, Springer, Verlag, Berlin.
- Poland, M. P., Fink, J. H. and Teuxe, L. (2004) Patterns of magma flow in segmented silicic dikes at Summer Coon volcano, Colorado: AMS and thin section analysis. *Earth and Planetary Science Letters* 219: 155-169.
- Rajaieh, M., Khalili, M. and Richards, I. (2010) The significance of mafic microgranular enclaves in the petrogenesis of the Dehno Complex, Sanandaj-Sirjan belt, Iran. *Journal of Asian Earth Sciences* 39: 24-36.
- Sadeghian, M. (2004) Magmatism, metallogeny and emplacement mechanism of Zahedan granitoid pluton. PhD thesis, University of Tehran, Tehran, Iran (in Persian).
- Seddighi, S. (1994) The study of geology and petrology of north Aligoudarz igneous plutons. MSc thesis, University of Isfahan, Isfahan, Iran (in Persian).
- Shabanian, N., Khalili, M., Davoudian, A. R. and Mohajjel, M. (2009) Petrography and geochemistry of mylonitic granite from Ghaleh-Dezh, NW Azna, Sanandaj-Sirjan zone, Iran. *Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung* 185(3): 233-248.
- Shahbazi, H., Siebel, W., Pourmoafae, M., Ghorbani, M., Sepahi, A. A., Shang, C. K., Vosoughi and Abedini, M. (2010) Geochemistry and U-Pb zircon geochronology of the Alvand plutonic complex in Sanandaj-Sirjan zone (Iran): New evidence for Jurassic magmatism. *Journal of Asian Earth Sciences* 39: 668-683.
- Shekari, S. (2012) Investigation of the emplacement mechanism of Darreh Bagh granitoidic pluton (NW Aligoudarz) by using anisotropy of magnetic susceptibility (AMS) method. MSc thesis, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran (in Persian).
- Tahmasbi, Z., Castro, A., Khalili, M., Ahmadi Khalahi, A. and Rosa, J. (2001) Petrologic and geochemical constraints on the origin of Astaneh pluton, Zagros orogenic belt, Iran. *Journal of Asian Earth Sciences* 39: 81-96.
- Tarling, D. H. and Hrouda, F. (1993) *The magnetic Anisotropy of rocks*. Chapman and Hall, London.
- Trouw, R. A. J., Passchier, C. W. and Wiersma, D. J. (2010) *Atlas of mylonites and related microstructures*. Springer, Verlag, Berlin.
- Vernon, R. H. (2004) *A practical guide to rock microstructure*. Cambridge University Press, London.

پیوست ۱- میانگین شاخص‌های مغناطیسی اندازه‌گیری شده برای کلیه ایستگاه‌های مغزه‌برداری

علائم اختصاری: Lat و Long: طول و عرض جغرافیایی ایستگاه‌ها بر حسب UTM؛ Km: پذیرفتاری مغناطیسی میانگین بر حسب μSI به ازای هر ایستگاه و برای یک واحد سنگ‌شناسی خاص؛ Lin: راستا و میل K1 (معرف خطوارگی یا خطواره مغناطیسی)؛ $\downarrow\text{Fol}$: راستا و میل K3 (معرف قطب برگوارگی یا برگواره مغناطیسی)؛ P%: درصد انیزوتروپی و T: شاخص شکل

Granodiorite															
Site	Long.	Lat.	Km	Lin. Az/Pl.	$\downarrow\text{Fol}$. Az/Pl.	P%	T	Site	Long.	Lat.	Km	Lin. Az/Pl.	$\downarrow\text{Fol}$. Az/Pl.	P%	T
SF-1	376324	3707853	289	159/5	77/31	9.8	0.65	SF-35	374577	3710543	252	308/16	24/52	4.0	0.48
SF-2	376241	3707880	263	168/9	104/21	8.6	0.63	SF-36	374802	3710735	297	358/40	32/45	6.7	0.70
SF-4	375842	3708253	262	140/7	60/36	8.4	0.57	SF-37	373927	3707798	241	357/5	73/16	3.9	0.65
SF-6	374602	3709194	258	118/14	60/25	7.0	0.67	SF-38	372564	3707993	245	89/40	97/40	3.9	0.37
SF-7	375957	3708809	250	345/15	33/22	9.5	0.71	SF-39	372406	3708218	240	69/39	81/40	4.4	0.23
SF-8	376183	3709429	279	320/12	43/60	7.4	0.28	SF-40	372058	3708420	252	79/41	96/42	4.3	0.31
SF-9	375729	3709181	281	149/5	66/32	9.1	0.58	SF-41	373472	3708866	267	157/4	77/21	4.0	0.28
SF-10	375120	3709518	247	351/17	58/37	7.3	0.76	SF-42	372903	3709118	235	53/41	82/44	3.3	0.43
SF-11	375959	3706464	249	126/18	113/18	8.1	0.78	SF-43	373734	3710190	231	307/6	31/41	5.3	0.73
SF-13	375602	3706937	293	59/20	82/22	9.2	0.74	SF-44	369579	3710504	233	18/42	71/57	3.3	-0.04
SF-15	375378	3707156	274	100/5	50/8	7.0	0.76	SF-45	370062	3709915	264	77/43	73/43	2.5	0.40
SF-16	374898	3707249	273	173/21	109/41	5.4	0.61	SF-46	370150	3709103	224	72/52	51/54	2.7	0.38
SF-17	374678	3707559	233	116/17	100/18	6.6	0.72	SF-47	369948	3709520	218	6/33	59/46	2.9	0.26
SF-19	375331	3705434	247	324/2	46/11	5.8	0.45	SF-48	370334	3709571	240	134/38	71/59	2.6	0.02
SF-20	374906	3705693	262	300/7	1/15	5.5	0.47	SF-49	371118	3709089	249	60/51	49/51	3.7	0.56
SF-21	374903	3703263	231	20/18	40/19	4.2	0.12	SF-50	370748	3709763	251	33/33	71/39	3.6	0.53
SF-22	374760	3703547	225	23/20	8/21	6.5	0.08	SF-51	370125	3710497	246	7/35	64/52	2.0	0.12
SF-23	374567	3703871	219	23/17	350/20	6.8	0.02	SF-52	370607	3710753	277	42/35	59/36	2.5	0.29
SF-24	375176	3704674	244	333/11	28/19	4.6	0.74	SF-53	367443	3706702	171	154/29	85/57	5.1	0.30
SF-25	374506	3706018	229	342/4	65/29	5.5	0.46	SF-54	367245	3706707	155	107/47	79/50	6.0	0.01
SF-27	373929	3706041	216	49/21	58/33	4.2	0.40	SF-55	367610	3706776	165	134/53	117/54	7.3	-0.53
SF-28	373710	3705855	239	11/27	89/69	8.0	0.28	SF-58	369668	3711637	237	14/46	84/72	2.7	-0.44
SF-29	373854	3705341	214	6/12	67/23	6.0	0.42	SF-59	369854	3712023	253	81/41	116/47	3.2	0.21
SF-30	374121	3704985	208	10/18	33/19	4.8	0.28	SF-60	370061	3713283	295	317/13	38/55	1.8	0.30
SF-31	374453	3705055	246	325/13	340/13	4.3	0.62	SF-62	370334	3713586	276	314/49	15/67	5.1	0.70
SF-32	374461	3704683	232	357/20	360/19	4.7	0.66	SF-63	371161	3713391	249	265/8	196/20	2.9	0.41
SF-33	375286	3710576	266	338/13	45/31	6.6	0.68	SF-65	372110	3711198	261	34/29	35/29	4.2	0.68
SF-34	374500	3710173	235	24/52	41/54	4.1	0.20	SF-66	372981	3711516	289	352/25	33/32	8.0	0.78
SF-67	371899	3711911	272	299/31	242/48	2.5	-0.49	SF-95	374300	3709027	281	77/23	47/26	5.8	0.62
SF-68	371956	3712165	232	310/43	27/76	2.7	0.09	SF-96	374280	3709164	267	330/13	40/33	8.2	0.69
SF-69	371970	3712291	269	304/37	335/41	3.7	-0.59	SF-97	374460	3709476	304	20/25	40/26	6.6	0.52
SF-70	371783	3712472	275	283/39	318/45	4.0	0.09	SF-98	374339	3709640	265	343/11	47/24	6.4	0.55
SF-71	371494	3712733	245	315/37	34/77	4.4	-0.33	SF-99	374176	3709498	277	344/2	62/17	7.9	0.50
SF-72	371880	3712789	287	316/45	27/72	6.7	0.49	SF-100	374029	3709315	273	339/5	58/24	5.2	0.04
SF-73	372174	3712380	257	307/16	15/38	3.8	-0.33	SF-101	372107	3709068	268	7/18	76/42	4.9	0.28
SF-74	373300	3711174	223	1/39	343/41	4.3	0.64	SF-102	371851	3708381	260	122/30	54/41	7.7	0.52
SF-75	370522	3712673	281	129/1	40/37	2.9	0.03	SF-103	372552	3709230	303	350/1	76/19	5.7	0.72
SF-76	370690	3712404	268	96/40	142/51	3.6	0.23	SF-104	372655	3709591	295	3/20	41/25	4.1	0.52
SF-77	371108	3712335	275	330/10	52/50	3.1	0.39	SF-105	372357	3709805	275	5/17	70/36	4.4	0.42
SF-78	371492	3711716	245	343/20	270/50	2.4	-0.10	SF-106	372451	3709961	288	324/3	271/10	3.4	0.30
SF-79	371464	3711533	265	295/48	236/65	1.9	0.09	SF-107	372288	3709658	282	46/27	86/33	3.3	0.61
SF-80	369997	3711512	216	106/48	105/48	3.5	0.23	SF-108	371883	3709564	274	16/22	83/45	4.8	0.72
SF-81	371494	3711112	256	345/58	28/65	2.2	0.06	SF-109	371507	3709126	249	33/33	72/40	3.7	0.11
SF-82	371971	3710684	251	356/21	51/39	3.8	-0.13	SF-110	373727	3708278	229	160/8	104/14	5.0	0.45
SF-83	372319	3710483	257	27/23	42/24	4.9	0.29	SF-111	372987	3709703	274	336/20	32/11	3.6	0.09

Granodiorite															
Site	Long.	Lat.	Km	Lin. Az/Pl.	↓Fol. Az/Pl.	P%	T	Site	Long.	Lat.	Km	Lin. Az/Pl.	↓Fol. Az/Pl.	P%	T
SF-84	371909	3710473	276	17/12	79/25	4.2	-0.34	SF-112	372980	3709400	312	3/10	32/11	5.8	0.59
SF-85	371705	3710246	251	68/26	94/28	4.1	0.50	SF-113	372872	3709025	302	25/41	63/47	3.4	0.53
SF-86	369692	3710567	211	23/55	67/63	3.0	-0.04	SF-114	373559	3709030	283	355/6	70/24	5.9	0.75
SF-89	375705	3707842	295	1/6	52/9	5.9	0.62	SF-115	373778	3709714	274	348/13	48/25	4.0	0.68
SF-90	375671	3707632	272	134/4	62/13	6.9	0.79	SF-116	374009	3710168	284	333/23	20/32	3.0	0.12
SF-92	375310	3708499	254	138/7	68/21	7.9	0.38	SF-118	374360	3710380	280	7/33	9/33	4.0	0.41
SF-93	374778	3708603	295	128/4	45/30	7.4	0.65	SF-120	373740	3710945	276	29/24	58/27	5.6	0.61
SF-94	374565	3708764	292	114/18	81/22	7.0	0.64	SF-121	373670	3711062	308	152/7	82/20	6.5	0.49
Leucogranite															
SF-3	376232	3707897	44	11/14	54/19	4.9	0.33	SF-63	371161	3713391	83.5	311/33	32/76	6.2	0.50
SF-5	375461	3708756	60	125/25	55/54	3.7	0.31	SF-87	375893	3708045	41.17	54/4	112/8	3.5	0.56
SF-7	375957	3708809	45	26/4	75/12	6.4	0.52	SF-88	375745	3707914	38.89	235/61	161/82	4.5	-0.03
SF-12	375427	3706919	41	336/76	12/79	4.7	0.10	SF-91	375583	3707653	45.53	345/7	46/15	6.3	0.72
SF-14	375489	3707076	51.3	196/6	174/7	2.0	0.20	SF-56	367090	3708903	37.9	194/4	106/54	3.0	0.03
SF-16	374898	3707249	36.5	340/40	349/41	3.1	-0.03								
Migmatite															
SF-26	373338	3706125	485	50/15	115/33	3.1	0.12	SF-63	371161	3713391	421	266/6	338/22	3.0	0.40
SF-57	369228	3711395	355	60/43	73/44	2.0	0.14	SF-64	370947	3710759	413	160/25	220/43	3.7	0.47
SF-58	369668	3711637	425	60/40	87/43	0.9	0.02	SF-99	374176	3709498	468	347/9	36/17	4.0	0.43
SF-60	370061	3713283	389	327/25	31/48	2.8	0.29	SF-118	374360	3710380	525	90/26	11/68	1.4	0.38
SF-61	370357	3713718	418	106/13	20/74	3.1	-0.21	SF-119	373972	3710418	477	323/9	7/12	3.2	0.04
Enclave															
SF-4	375842	3708253	406	4/10	146/33	7.6	0.74	SF-36	374802	3710735	371	354/39	23/43	5.8	0.42
SF-5	375461	3708756	526	125/17	40/64	1.2	-0.45	SF-37	373927	3707798	456	203/2	140/4	3.63	0.50
SF-10	375120	3709518	357	161/9	109/32	8.2	0.68	SF-44	369579	3710504	320	340/34	279/53	3.1	0.63
SF-13	375602	3706937	495	76/13	82/22	2.7	0.61	SF-50	370748	3709763	343	360/22	48/30	3.225	0.42
SF-18	374296	3707618	353	189/46	215/49	0.8	0.20	SF-89	375705	3707842	342	349/11	33/15	5.35	0.46
SF-24	375176	3704674	322	15/10	43/11	2.5	0.23	SF-117	374336	3710344	372	231/7	301/19	6.4	0.61
SF-33	375286	3710576	356	356/24	47/36	7.2	0.65								

The investigation of anisotropy of magnetic susceptibility (AMS) and the emplacement mechanism of Darreh Bagh granitoid pluton (NW Aligudarz)

Mahmoud Sadeghian * and Sakineh Shekari

Faculty of Earth Sciences, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran

Abstract

The Darreh Bagh granitoid pluton (DGP), with middle Jurassic age (178 Ma), located in the northwest of Aligudarz city. The pluton is mainly granodioritic composition which emplaced in metapelitic rocks of Sanandaj-Sirjan structural zone. For the first time, the emplacement mechanism of this pluton, investigated by anisotropy of magnetic susceptibility (AMS) method. Based on the present investigations, the mean magnetic susceptibility, in terms of μSI for the studied rock groups are as follow: granodiorites (257), leucogranites (47), high tourmaline leucogranites (148), low tourmaline leucogranites (48), migmatites (437), surmicaceous enclaves (386). Considering the obtained values, the felsic part of the DGP belongs to the paramagnetic granitoids ($500 > \chi > 0$ in μSI) (equal to ilmenite series or S-type). Based on the magnetic parameters and their interpretations it is possible to divide DGP into the A and B domains and A_1 , A_2 subdomains. The magnetic lineations in the subdomains oriented to the north. Whereas in the middle part of the pluton (B domain) it oriented dominantly to the east and southeast. Based on distribution patterns of magnetic lineations these domains were emplaced with a short delay compared to each other. Meanwhile, A domain was emplaced prior to B domain. With attention to distribution patterns of magnetic lineations and foliations, the principles of interpretation of magnetic parameters and regional geological characteristics, the Darreh Bagh granitoid pluton was emplaced in the form of a relatively large sill in a dextral shear zone (related to a transpression regime).

Key words: Anisotropy of magnetic susceptibility (AMS), Magnetic lineations and foliations, Transpression regime, Aligudarz, Sanandaj-Sirjan zone

* m.sadeghian@shahroodut.ac.ir