

مطالعه ریز ساختاری و الگوی جایگیری نیمه جنوبی باتولیت الوند با استفاده از ناهمسانگردی پذیرفتاری مغناطیسی (AMS)

عاتکه اصلانی^۱، حبیب علی محمدیان^۲، جلیل قلمقاش^۳ و حمید نظری^۳

^۱دانشجوی کارشناسی ارشد، پژوهشکده علوم زمین، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، ایران

^۲دکتر، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، ایران

^۳استادیار، پژوهشکده علوم زمین، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۰۴/۲۵ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۰۳/۲۵

چکیده

منطقه مورد مطالعه با گسترش ۱۲۰ کیلومتر مربع در جنوب و جنوب باختری همدان جای گرفته است. از دید سنگ شناسی بیشترین حجم این توده در منطقه مورد مطالعه گرانیت پورفیروئیدی است. در مطالعات سنگ نگاری گرانیتوئیدهای این منطقه به گرانیت‌ها (مونزو گرانیت‌ها، سینو گرانیت‌ها و آلکالی فلدسپات گرانیت‌ها) و گرانودیوریت‌ها تقسیم بندی شده‌اند. از دید ریزساختاری بیشتر منطقه دارای فابریک ماگمایی - نیمه ماگمایی است و تعداد کمی از نمونه‌ها دگرشکلی حالت جامد دما بالا با حضور کوآرتزهای صفحه شطرنجی، بیوتیت‌های دارای حالت کینک و خمیدگی و ریزش‌دگی کانی‌ها را نشان می‌دهند. در منطقه مورد مطالعه، از ۱۰۷ ایستگاه، ۴۰۳ مغزه جهت‌دار برای مطالعات ناهمسانگردی پذیرفتاری مغناطیسی تهیه شد. مقادیر پذیرفتاری مغناطیسی به طور متوسط برای کل نمونه‌ها بین ۱۱۴-۳۱۴ μSI و میانگین مقدار حساسیت مغناطیسی (K_m) برای گرانودیوریت‌ها (μSI) ۴۵۷/۵ و دامنه تغییرات آنها از ۲۸۲ تا ۶۳۳ (μSI) است که نسبت به گرانیت‌ها K_m بالاتری دارند و این به دلیل حضور مگنتیت در این سنگ‌ها است که به وسیله آزمایش کانی مغناطیسی و آزمایش کانی سنگین اثبات شد و مقدار آن در این سنگ‌ها حدود ۰/۰۲۵ تا ۰/۰۱ درصد برآورد شده است. مقدار پذیرفتاری مغناطیسی میانگین (Km) که بیشتر بین ۱۴ تا ۵۱۴ μSI است نشان‌دهنده گرانیت پارامگناطیس است. مقدار P در گرانیتوئیدهای منطقه میان ۰/۷۲ تا ۷/۴ درصد متغیر است. مقدار متغیر شکل در بیشتر نمونه‌ها دارای مقدارهای مثبت و شکل کلوچه‌ای است و احتمال ساختار سیل یا مانند آن را در این بخش‌های توده تأیید می‌کند. با مشاهده برگوارگی‌های مغناطیسی و خطوارگی‌های مغناطیسی با شیب زیاد در بخش مرکزی توده که با دور شدن از این بخش شیب آنها کم می‌شود می‌توان محل اصلی تزریق توده را در این بخش دانست که حجم زیادی از ماگما با شیب زیاد از این بخش بالا آمده است. البته افزون بر بخش مرکزی، برگوارگی و خطوارگی‌های مغناطیسی با شیب به نسبت زیاد در دو منطقه دیگر از توده نیز دیده می‌شود که این دو بخش می‌تواند محل‌های فرعی تغذیه توده باشد. بر پایه همه شواهد مغناطیسی که تاکنون در منطقه گفته شد و رژیم زمین ساختی ترافشارشی حاکم بر این منطقه می‌توان بالا آمدگی ماگما را در یک فضای کششی با راستای کشش NW-SE تصور کرد که گروهی از خطوارگی‌ها در این روند قرار گرفته‌اند ولی گروهی دیگر روند NE-SW دارند که احتمالاً ماگما در هنگام نفوذ و جایگیر شدن به علت چرخشی که در اثر نیروی زمین ساختی حاکم بر منطقه و سیال بودن ماگما داشته، این گروه از خطوارگی‌ها را ایجاد کرده است. البته باید شکاف‌های محلی دیگر که می‌تواند محل‌های تغذیه فرعی در منطقه باشند را نیز در نظر گرفت.

کلیدواژه‌ها: گرانیتوئید الوند، فابریک ماگمایی، ناهمسانگردی پذیرفتاری مغناطیسی (AMS).

***نویسنده مسئول:** حبیب علی محمدیان

E-mail: halimohammadian@gmail.com

۱- پیش گفتار

بخش جنوبی توده گرانیتوئیدی با گسترش تقریبی ۱۲۰ کیلومتر مربع در بین طول‌های خاوری ۲۴' ۴۸° تا ۳۳' ۴۸° و عرض‌های شمالی ۳۰' ۳۴° تا ۴۲' ۳۴° در جنوب و جنوب باختری همدان قرار گرفته است. شهرهای همدان، تویسرکان و سرکان در اطراف توده مورد مطالعه قرار دارند، همچنین راه‌های ارتباطی برای دسترسی به این بخش بیشتر خاکی و محدود بوده و در ارتفاعات نیز برای دسترسی به منطقه از راه‌های مال‌رو می‌توان استفاده کرد (شکل ۱- الف). منطقه مورد مطالعه از دید سنگ شناسی شامل گرانیتوئیدها (مونزو گرانیت‌ها، سینو گرانیت‌ها، آلکالی گرانیت‌ها و گرانودیوریت‌ها)، گابرو و سنگ‌های دگرگونی از جمله هورنفلس‌هاست (شکل ۱- ب). روش ناهمگنی پذیرفتاری مغناطیسی (Anisotropy of magnetic Susceptibility) که برای مطالعه شکل جایگیری نیمه جنوبی الوند انتخاب شد، یک روش آسان و سریع است که در مورد جهت و ساخت‌های ماگمایی اطلاعات کمی ارائه می‌دهد. این روش توانایی بالایی در نقشه برداری گرانیت‌ها دارد و در دهه اخیر به سرعت گسترش یافته است (Bouchez, 1997)، با توجه به اینکه مطالعه مدل جایگیری توده‌های نفوذی به روش سنتی (با اندازه گیری ساخت‌های بزرگ مقیاس مثل خطوارگی و برگوارگی موجود در توده‌های نفوذی در صحرا انجام می‌گرفت) بسیار مشکل و زمان‌بر بود و گاه نیز به دلیل همگن بودن توده و یا نبود کانی جهت‌دار مثل بیوتیت و هورنفلند

در توده امکان پذیر نبود، استفاده از روش AMS خیلی مفیدتر است. روش AMS به اندازه گیری متغیرهایی می‌پردازد که بازتاب‌دهنده فابریک مغناطیسی سنگ‌ها هستند. این روش به عنوان روشی جدیدتر، سریع‌تر و قابل اعتمادتر نسبت به روش‌های دیرین، برای تعیین سازوکار جایگیری توده‌های نفوذی کاربرد گسترده‌ای پیدا کرده است. در این روش با اندازه گیری متغیرهای K_1 ، K_2 ، K_3 می‌توان خطوارگی و برگوارگی مغناطیسی، متغیر شکل، درجه ناهمگنی مغناطیسی و متغیرهای مغناطیسی دیگر را محاسبه کرد. در روش AMS، K_1 معرف خطوارگی مغناطیسی و K_3 معرف قطب برگوارگی مغناطیسی است. با رسم خطوارگی‌ها و برگوارگی‌های مغناطیسی روی نقشه می‌توان به مدل جایگیری توده گرانیتی پی برد.

۲- زمین شناسی منطقه

بخش جنوبی توده نفوذی الوند در بخش شمالی پهنه سهندج- سیرجان (Stöcklin, 1968) جای گرفته است. پهنه سهندج- سیرجان باریکه‌ای از جنوب باختری ایران مرکزی است که در مجاورت بلافاصل شمال خاوری راندگی اصلی و کمر بند چین- گسل زاگرس قرار دارد. این پهنه حاصل بسته شدن اقیانوس نوتتیس در میان صفحات زمین ساختی ایران و عربستان است (Berberian & King, 1981; Sengör et al., 1988; Ricou, 1994; Mohajjel et al., 2003).

۴- روش کار

۴-۱. کارهای صحرایی (نمونه برداری)

برای نمونه برداری، در این روش، از یک ماشین مغزه گیر قابل حمل با سوخت بنزینی استفاده شد. به کمک این دستگاه، مغزه هایی به طول ۱۰۰ تا ۱۵۰ میلی متر و قطر ۲۵ میلی متر از سنگ هایی با رخنمون تازه و بدون هوازدگی برداشت شد در حالی که میل و سوی میل این مغزه ها پیش از جدا کردن آنها از بدنه سنگ ها اندازه گیری شد. نمونه های اندازه گیری شده جهت دار به آزمایشگاه دبرینه مغناطیسی مستقر در سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور انتقال یافته و به اندازه های ۲۲ میلی متر توسط دستگاه برش مخصوص این کار، برش داده شد تا قابل استفاده در دستگاه اندازه گیری خودپذیری مغناطیسی مدل MFK1-F باشد. از ۱۰۷ ایستگاه نمونه برداری، ۴۰۳ مغزه جهت دار تهیه شد.

۴-۲. کارهای آزمایشگاهی

پس از برش نمونه ها، برای اندازه گیری متغیرهای مغناطیسی از دستگاه مغناطیس سنج مدل MFK1-F استفاده شد. نمونه ها در سه جهت، پیرامون محورهای X, Y, Z در دستگاه قرار داده و پذیرفتاری مغناطیسی آنها اندازه گیری شد (شکل های ۳- الف و ج). در ادامه داده های مربوط با فرمت Ran ثبت و ذخیره شد. سپس این داده ها توسط نرم افزار Anisoft 4.2 مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. البته برای رسم نقشه های مورد نیاز برای تحلیل بهتر داده ها، از نرم افزار Arc GIS 9.3 نیز استفاده شد. برای مطالعات سنگ نگاری و ریزساختاری از ته مغزه های ۸۰ ایستگاه برای تهیه مقاطع نازک در کارگاه مقطع گیری سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور استفاده شد.

۵- بحث

۵-۱. سنگ نگاری

گرانیتویدهای پورفیرویدی در مشاهدات صحرایی به صورت درشت بلور و در مناطقی به صورت متوسط بلور مشاهده می شوند که در نوع درشت بلور اندازه فلدسپارها، نسبت به نوع متوسط بلور، خیلی درشت تر است. افزون بر این درون گرانیتویدهای این منطقه آنکلاوهای میکرو گرانولار و رستیت هایی دیده می شوند که در برخی محل ها این آنکلاوها، همسو با فلدسپارها کشیده شده اند و حالت بیضوی به خود گرفته اند البته سوی برگوارگی های اندازه گیری شده در صحرای سوی برگوارگی های مغناطیسی در آن نقاط تقریباً همخوانی دارند که می تواند نشان دهنده جهت یافتگی های ناشی از جریان ماگما باشند (شکل ۴). با مطالعه سنگ نگاری، گرانیتویدهای این منطقه به گرانیت ها (مونوزو گرانیت ها، سینو گرانیت ها و آلکالی فلدسپار گرانیت ها) و گرانودیوریت ها تقسیم بندی شدند.

بافت گرانیت ها بیشتر ساب هدرال گرانولار است ولی بافت های میرمکتی و پرتیتی نیز در آنها دیده می شود. کانی های اصلی گرانیت ها، شامل کوارتز، فلدسپارهای قلیایی (اورتوز و میکروکلین)، پلاژیوکلاز، بیوتیت و گاهی مسکوویت و کانی های فرعی در این سنگ ها شامل زیرکن، کانی های کیدر (ایلمنیت، هماتیت، اکسیدهای آهن) ± آپاتیت ± تورمالین ± گارنت ± اسفن هستند. کانی های ثانویه کلریت و سرسیت در تعدادی از مقاطع مشاهده شدند.

گرانودیوریت ها بافت ساب هدرال گرانولار و گاهی بافت میرمکتی دارند و در آنها اندازه بلورها نسبت به گرانیت ها کوچک تر است. در این سنگ ها کوارتز، پلاژیوکلاز، فلدسپار قلیایی (ارتوکلاز و گاهی میکروکلین)، بیوتیت ± هورنبلند کانی های اصلی سنگ و زیرکن، کانی های کیدر، گارنت، تورمالین، اسفن و آپاتیت کانی های فرعی هستند. در مطالعات میکروسکوپی میکرو آنکلاوهای سورمیکاسه در گرانودیوریت ها مشاهده شد که دارای شکل بیضی و تقریباً کشیده و با اندازه تقریبی ۳ تا ۵ میلی متر طول و ۱ تا ۲ میلی متر عرض هستند.

از دید سنگ شناسی بیشترین حجم این توده در منطقه مورد مطالعه گرانیت پورفیروید است و این در حالی است که گابروها حجم کوچکی را در بخش جنوبی توده نفوذی الوند به خود اختصاص داده اند. در این مطالعه بخش های گرانیتویدی این توده، مورد مطالعه قرار گرفته است. سپاهی گرو (۱۳۷۸) بر این باور است که در این منطقه، ماگماهای گابرویدی گشته ای از یک سو و ماگماهای آتاکتیک پسته ای از سوی دیگر به صورت پی در پی و گاه همزمان با هم تزریق شده و طیف گسترده ای از سنگ ها را با خاستگاه پسته ای (آتاکتیک)، گشته ای و دو رگه ایجاد کرده اند. بر پایه آخرین تعیین سن های رادیومتری سن ۱۶۵-۱۶۲ میلیون سال پیش برای گرانیتویدها به دست آمده است (Shahbazi et al., 2010; Mahmoudi et al., 2011).

۳- متغیرهای مغناطیسی

برای استفاده از روش AMS، آشنایی با فابریک های مغناطیسی از جمله خطوارگی و برگوارگی مغناطیسی، متغیر شکل (T)، پذیرفتاری مغناطیسی میانگین (K_m) و درجه ناهمگنی مغناطیسی (P) ضروری است. هنگامی که یک نمونه در دستگاه اندازه گیری خودپذیری مغناطیسی قرار می گیرد، این دستگاه با حرکت دادن نمونه درون سیم پیچ، یک میدان H (با واحد آمپر بر متر A/M) بر نمونه القا می کند و نمونه نیز میدان مغناطیسی برابر با M (با واحد آمپر بر متر A/M) پیدا می کند.

$$M=KH$$

K ضریب حساسیت مغناطیسی نامیده می شود. K بدون بعد است و به نوع ماده بستگی دارد. K رابطه ای خطی است و شیب نمودار M بر حسب H را نشان می دهد. اگر بردارهای مغناطیسی را در یک فضای بیضوی تجسم کنیم، می توان ۳ بردار K_{int} ، K_{mi} و K_{max} را تعریف کرد که K_{max} (بزرگ ترین محور بیضوی)، K_{int} (محور متوسط بیضوی)، و K_{min} (محور کوچک بیضوی) را تعریف می کند (Tarling & Hrouda, 1993).

K_1 به عنوان خطوارگی مغناطیسی (Magnetic Lineation) شناخته می شود، K_3 (K_{min}) که بردار کمترین مقدار پذیرفتاری مغناطیسی را تعریف می کند به عنوان قطب برگوارگی مغناطیسی (Magnetic Foliation) شناخته می شود (صادقیان و ولی زاده، ۱۳۸۶) و مقدار K_{int} به عنوان میانگین عددی K_{min} و K_{max} نیست، بلکه مقدار آن در محدوده میان آنها تغییر می کند که تجسم بیضوی مغناطیسی را امکان پذیر می سازد (Lanza & Meloni, 2006).

۳-۱. متغیر پذیرفتاری مغناطیسی میانگین (K_m)

متغیر پذیرفتاری مغناطیسی میانگین یا به طور کلی K که از رابطه $K = (K_1 + K_2 + K_3) / 3$ محاسبه می شود، بدون بعد است، ولی در اندازه گیری ها، بر پایه SI یا μSI تعریف می شود، SI مخفف Standard International است (Tarling & Hrouda, 1993).

۳-۲. متغیر درجه ناهمسانگردی مغناطیسی (P)

درجه ناهمسانگردی ($P = K_1 / K_3$) میزان ناهمگنی مغناطیسی را نشان می دهد. هنگامی که $K_1 = K_2 = K_3$ باشد، مقدار P برابر ۱ خواهد بود و فضای مغناطیسی ۳ بعدی به شکل کره در می آید ولی هرچه میزان حساسیت مغناطیسی بیشتر باشد، میان محورهای تفاوت بیشتری ایجاد و درجات ناهمسانگردی بیشتر می شود.

۳-۳. متغیر شکل (T)

متغیر شکل برای توصیف شکل بیضوی مغناطیسی استفاده می شود که بر پایه وضعیت بردارهای پذیرفتاری مغناطیسی استوار است.

مقدار متغیر T بین ۱ و -۱ تغییر می کند و هنگامی که بیضوی، دوکی شکل (Prolate) است $K_1 = K_2 > K_3$ و $0 < T \leq 1$ و هنگامی که بیضی بشقابی شکل (Oblate) است (شکل ۲) $K = K_2 > K_3$ و $-1 \leq T < 0$ است (Lanza & Meloni, 2006).

۵-۲. مطالعات ریز ساختمانی

در طی مطالعات ریز ساختمانی، فابریک ماگمایی، فابریک نیمه ماگمایی و دگرشکلی حالت جامد دما بالا در منطقه مشاهده شد.

– **فابریک ماگمایی:** هنگامی که در یک ماگما، بخش جامد (بلورها) از حدود ۶۰ درصد تجاوز نکند، در این حالت مذاب کافی برای تحرک بلورها وجود دارد تا آنها بتوانند در طی تغییر شکل ماگما به بلورهای مجاور برخورد نکنند، که در این حالت فابریک‌های ماگمایی (شکل ۵-الف) در سنگ شکل می‌گیرد (Fernandez, 1987; Benn & Allard, 1989).

– **فابریک نیمه ماگمایی:** اگر بخش جامد در ماگما افزایش یابد و مقدار مذاب کمتر از حد بحرانی به وجود آوردن جریان ماگمایی باشد، در این صورت بلورها با یکدیگر درگیر شده و زمینه میان آنها را مذاب فرا می‌گیرد (Hibbard, 1987; Paterson et al., 1989) (شکل ۵-ب).

– **دگرشکلی حالت جامد دمای بالا:** این فابریک در دمای پایین‌تر از سولیدوس ماگما تشکیل شده و کانی‌ها در آن رفتار شکننده دارند. از علایم این نوع فابریک، دگرشکلی پلاژیوکلاز در حالت شکل‌پذیر (پلاژیوکلاز کج شده و لامل‌های آن حالت گوه‌ای پیدا می‌کنند)، بافت شطرنجی در کوارتزا و حالت کینک و خمیدگی و پیچ و تاب در میکاها مشخص هستند (Saint-Blanquat & Tikoff, 1997). در این فابریک ریزش‌دگی بلورها نسبت به فابریک ماگمایی بیشتر دیده می‌شود (شکل‌های ۶-الف و ت). فابریک حالت جامد دما بالا در منطقه خیلی کم مشاهده شد، که با حضور کوارتزا صفحه شطرنجی، بیوتیت‌های دارای حالت کینک و خمیدگی و ریزش‌دگی کانی‌ها مشخص شدند. در پایان بیشتر از منطقه دارای فابریک ماگمایی بود و تعداد کمی از نمونه‌ها دگرشکلی حالت جامد دما بالا نشان می‌دهند (شکل ۷). البته فابریک نیمه ماگمایی نیز در منطقه مشاهده شد که در این مطالعه بخشی از فابریک ماگمایی در نظر گرفته شده است.

۵-۳. تفسیر داده‌های مغناطیسی

پس از آماده‌سازی و اندازه‌گیری نمونه‌ها و با استفاده از داده‌های مغناطیسی به‌دست آمده از آزمایش‌های AMS، نقشه‌هایی از خطوارگی و برگوارگی مغناطیسی، متغیر شکل، درجه ناهمگنی مغناطیسی و پذیرفتاری مغناطیسی میانگین رسم شد. با مشاهده و تحلیل این نقشه‌ها نتایج به‌دست آمد که در ادامه به توضیح آنها پرداخته می‌شود.

– **خطوارگی مغناطیسی:** همان‌گونه که در نقشه‌های خطوارگی مغناطیسی مشاهده می‌شود در منطقه مورد نظر، بخش مرکزی توده دارای خطوارگی مغناطیسی با شیب زیاد و بخش جنوب و جنوب باختری توده دارای خطوارگی با شیب متوسط و کم است. خطوارگی‌های مغناطیسی در منطقه مورد مطالعه دارای دو روند کلی NW و NE هستند (شکل ۸).

– **برگوارگی مغناطیسی:** در نقشه‌های برگوارگی مغناطیسی مقدار شیب برگوارگی‌ها در مرکز توده زیاد و در بخش جنوب باختری کمتر مشاهده می‌شود که با نقشه خطوارگی مغناطیسی در این منطقه همخوانی دارد. شیب زیاد برگوارگی در مرکز توده و تطابق آن با نقشه خطوارگی، می‌تواند نشانه‌ای از حضور منطقه اصلی تغذیه در این بخش باشد. البته برگوارگی‌هایی با شیب زیاد در مناطقی از جنوب و شمال باختری منطقه مشاهده می‌شود که می‌تواند نشان‌دهنده حضور مناطق تغذیه‌کننده کوچک‌تر باشد (شکل ۹).

– **پذیرفتاری مغناطیسی میانگین:** متغیر دیگر مورد مطالعه پذیرفتاری مغناطیسی میانگین است. در نقشه‌های پهنه‌بندی و سه‌بعدی (شکل ۱۰) در بخش جنوب باختری، مقدار K_m بیشتری نسبت به نقاط دیگر مشاهده می‌شود که این تفاوت با تغییر رنگ در این توده مشخص شده است. مقادیر پذیرفتاری مغناطیسی به‌طور متوسط برای همه نمونه‌ها بین ۱۱۴-۳۱۴ μSI و میانگین مقدار پذیرفتاری مغناطیسی (K_m)، برای گرانودیوریت‌ها که در بخش جنوب باختری توده مورد رخنمون دارند

(μSI) ۴۵۷/۵ و دامنه تغییرات آنها از ۲۸۲ تا ۶۳۳ (μSI) است که نسبت به گرانیت‌ها (موزو گرانیت‌ها و سینو گرانیت‌ها و آلکالی گرانیت‌ها) K_m بالاتری دارند (جدول ۱). فراوانی بیوتیت‌ها و حضور دیگر کانی‌های پارامگناطیس از جمله هورنبلند، اسفن و ایلمنیت و حضور میکرو آنکلاوهای سورمیکاسه و کانی‌های فرومگناطیس مگنتیت و هماتیت در این سنگ‌ها باعث برتری آنها از نظر بیشینه مقدار K_m نسبت به گرانیت‌ها شده است. مقدار پذیرفتاری مغناطیسی میانگین (K_m) غالباً کمتر از ۵۱۴ μSI با تعلق داشتن این توده نفوذی به گرانیت‌های پارامگناطیس سازگار است.

• **حضور مگنتیت در گرانیتوئیدها:** مشاهده مقدار K_m به‌نسبت بالا در گرانیتوئیدها با حضور مگنتیت در گرانیتوئیدهای منطقه اثبات شد. در نمودارهای ترمومگنتیک افت ناگهانی پذیرفتاری مغناطیسی در دمای ۵۸۰ درجه سانتی گراد (مطابق با دمای کوری مگنتیت) مؤید این امر است (شکل ۱۱).

• **آزمایش کانی سنگین:** برای تأیید نتیجه آزمایش کانی شناسی مغناطیسی، از آزمایش کانی سنگین استفاده شد. برای این کار نمونه‌ها خرد شدند و مورد آزمایش قرار گرفتند. در طی این آزمایش مشخص شد مگنتیت حدود ۰/۰۱ تا ۰/۰۲۵ درصد از حجم نمونه‌ها را به خود اختصاص می‌دهد (شکل ۱۲).

۵-۴. درجه ناهمسانگردی مغناطیسی

مقدار P در گرانیتوئیدهای منطقه بین ۰/۷۲ تا ۷/۴ درصد متغیر است. با رسم نقشه منطقه‌بندی متغیر P (شکل ۱۳)، مشاهده می‌شود که گرانودیوریت‌ها بیشتر دارای درجه ناهمسانگردی کم هستند ولی گرانیت‌ها دارای مقدار تغییرات بیشتری هستند. به‌طور کلی سنگ‌های گرانودیوریتی که مافیک‌تر هستند ناهمگنی کمتری دارند. تغییرات متغیر P می‌تواند با تغییر آرایش بلورها مرتبط باشد.

۵-۵. متغیر شکل

دامنه تغییرات T در گرانیتوئیدهای الوند از ۰/۷۸۸- تا ۰/۷۷۱ متغیر است. در شکل ۱۴ مقادیر T در برابر $\log K_m$ رسم شده است. با توجه به این شکل همه گرانودیوریت‌ها دارای T مثبت و گرانیت‌ها دارای محدوده تغییرات وسیع‌تری از T هستند، ولی در کل، بیشتر نمونه‌ها مقادیرهای مثبت دارند. در شکل ۱۵ مقادیر مثبت، شکل کلوچه‌ای بیضوی مغناطیسی و در نتیجه چیرگی متغیر برگوارگی بر خطوارگی در این بخش‌های توده را تأیید می‌کنند که در بخش‌های حاشیه‌ای و بخش جنوب منطقه مشاهده می‌شود در برابر آن مقادیر منفی که نشان‌دهنده شکل دوکی بیضوی مغناطیسی است در بخش مرکزی و شمالی منطقه مشاهده می‌شود. این نقشه تا حدودی با نقشه‌های خطوارگی و برگوارگی توده همخوانی دارد که می‌تواند نشان‌دهنده محل تزریق توده در بخش مرکزی باشد.

۶- قلمرو بندی بخش جنوبی توده گرانیتوئیدی الوند

برای آسانی در روند نتیجه‌گیری، منطقه مورد مطالعه، بر پایه وضعیت برگواره‌ها و خطواره‌های مغناطیسی به سه منطقه A، B و C تقسیم‌بندی شد که این قلمروها از نظر سنگ‌شناسی بیشتر شامل موزو گرانیت و سینو گرانیت هستند ولی قلمرو A بیشتر از گرانودیوریت تشکیل شده است (شکل ۱۶).

در قلمرو A که شامل گرانودیوریت‌هاست، با رسم استریوگرام و کنتوردیگرام مربوط به خطواره‌های مغناطیسی، تمرکز بیشتر نقاط در سوی شمال و شمال خاور مشاهده شد و شیب بیشتر نقاط متوسط و کم است. نمودار گل سرخی و کنتوردیگرام مربوط به خط نشان‌دهنده سوی شیب و شیب برگوارگی‌های مغناطیسی در این قلمرو رسم (شکل ۱۶) و مشخص شد که برگواره‌ها نیز دارای شیب متوسط و گاه زیاد هستند و همچنین خطوط مسیر در این منطقه، روندی شبیه به خطوط مسیر در منطقه B که تزریق اصلی از این منطقه بوده است، نشان می‌دهند (شکل ۱۷) ولی احتمالاً تزریق محلی ماگما به‌طور همزمان سبب تغییر جزئی در امتداد این خطوط شده است.

خطوط مسیر در قلمرو A و C نسبت به خطوط مسیر قلمرو B که محل اصلی تزریق توده بوده است، می توانند شاهد احتمالی از وجود مناطق تزریق فرعی ماگما باشد. این دو منطقه تغذیه نسبت به مرکز توده گسترده کمی و بر گوارها و خطواره های مغناطیسی شیب کمتری دارند. نقشه متغیر شکل نیز این مطلب را تأیید می کند. زیرا در منطقه ای که محل تزریق ماگماست متغیر شکل دو کی شکل و نشانه بالا آمدگی ماگما از این محل هاست.

۸- نتیجه گیری

گرانیت ها بیشتر گرانیتویدهای منطقه را تشکیل می دهند که طی مطالعات سنگ نگاری شامل مونزوگرانیت، سینوگرانیت و فلدسپار قلیایی گرانیت هستند. گرانودیوریت ها سهم کمی از گرانیتویدها را در بخش جنوبی منطقه به خود اختصاص داده اند. جهت یافتگی فلدسپارها و برخی از آنکلاوهای با برگواره های مغناطیسی تقریباً هم جهت هستند و می توانند شاهدهی بر ایجاد جهت یافتگی ها در طی جریان ماگما باشند.

در طی مطالعات ریزساختاری، وجود فابریک های ماگمایی، نیمه ماگمایی و حالت جامد دمای بالا در سنگ های مطالعه شده، آشکار شد و بیشتر نیز فابریک ماگمایی و به مقدار خیلی کمی فابریک حالت جامد دما بالا بوده اند.

طی مطالعات AMS انجام شده در منطقه، گرانودیوریت ها مقدار پذیرفتاری مغناطیسی میانگین (K_m)، بیشتری را نسبت به گرانیت ها از خود نشان داده اند. تفاوت در مقدار K_m گرانودیوریت ها از فراوانی بیشتر کانی های پارامغناطیس مانند پیوتیت، ایلمنیت و کانی های فرومغناطیس مگنتیت و هماتیت ناشی شده است، ولی افزون بر این حضور میکرو آنکلاوهای سورمیکاسه و کانی هورنبلند و اسفن در برخی از گرانودیوریت ها نیز در این امر سهم بوده است.

حضور مگنتیت در این سنگ ها به وسیله روش کانی شناسی مغناطیسی و آزمایش کانی سنگین اثبات شده و حجم آن در این سنگ ها حدود ۰/۱ تا ۰/۲۵ درصد برآورد شده است.

در بیشتر نمونه ها مقدار متغیر شکل مثبت و کلوجهی است که بیشتر در حاشیه توده هستند و گرانودیوریت ها بیشتر درجه ناهمسانگردی مغناطیسی کم دارند ولی گرانیت ها دارای مقدار تغییرات بیشتری هستند.

بر پایه همه شواهد مغناطیسی که تاکنون در منطقه گفته شد و رژیم زمین ساختی ترافشارشی حاکم بر این منطقه می توان بالا آمدگی ماگما را با شیب زیاد در بخش مرکزی توده در یک فضای کششی با راستای کشش NW-SE تصور کرد، البته با در نظر گرفتن شکاف های محلی دیگر که می توانند محل های تغذیه فرعی در منطقه باشند.

سپاسگزاری

نویسنده اول از ریاست محترم سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور جناب آقای مهندس کره ای و معاونت محترم وقت زمین شناسی جناب آقای دکتر قاسمی به دلیل حمایت و فراهم کردن امکان انجام این پژوهش و همچنین از همکاری گروه های مختلف آزمایشگاهی و بخش حمل و نقل سازمان زمین شناسی سپاسگزاری می کند.

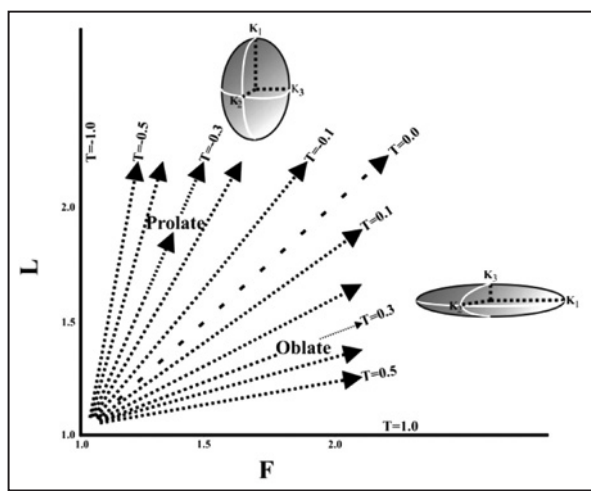
بیشتر خطواره ها، در بخش مرکزی قلمرو B (محل احتمالی تزریق توده) بیشتر شیب زیاد و روند شمال باختری - جنوب خاوری نشان می دهند که نشان دهنده گسترش آنها در جهت کشش است زیرا خاستگاه ساختاری گرانیتوید الوند، فضای کششی محصول رژیم زمین ساختی ترافشارشی در فرایند همگرایی ارزیابی شده است (محبجل، ۱۳۸۴). ولی با فاصله گرفتن از این منطقه بیشتر خطواره ها روند شمال خاوری - جنوب باختری می گیرند، این روندها می تواند ناشی از چرخش راست گرد توده هنگام تزریق و در نتیجه تأثیر آن روی سوی جریان ماگما باشد، که این چرخش گویی در مرکز توده که روند خطوارگی ها NW-SE است تأثیر کمتری داشته است. در این قلمرو برگواره ها بیشتر دارای شیب زیاد و متوسط هستند و تعدادی نیز شیب کم دارند. این می تواند نشان دهد که ماگما از مناطقی که دارای شیب زیاد هستند نفوذ کرده و سپس با شیب متوسط و در ادامه با شیب کم جریان یافته است. در خطوط مسیر (Trajectory) برگواره های مغناطیسی (شکل ۱۷) در قلمرو B، همه خطوط تقریباً یک شکل نیم دایره را نشان می دهند که به ترتیب از مرکز توده قطر این نیم دایره ها افزایش می یابد. این امر نشان دهنده تزریق ماگما از مرکز و گسترش جانبی جریان ماگمایی است. با مشاهده دقیق تر خطوط مسیر برگوارگی مشاهده می شود که فاصله این خطوط در بخش خاوری توده به هم نزدیک تر است و در بخش باختری توده از هم دورتر می شوند، این حالت می تواند در اثر تأثیر توأم چرخش ماگما هنگام تزریق و نیروی زمین ساختی ناشی از فرورانش به وجود آید.

در قلمرو C بیشتر میل خطواره ها به سوی جنوب خاوری و شیب آنها نیز کم و متوسط است. برگواره ها نیز دارای شیب زیاد تا کم هستند. حضور برگواره های مغناطیسی از شیب زیاد به کم و چگونگی قرارگیری تعدادی از آنها که ایجاد خطوط مسیر حلقوی کرده است می تواند نشانه حضور یک محل تغذیه محلی ماگما باشد که البته این قلمرو کاملاً در ارتباط با قلمرو B است و احتمالاً همزمان با نفوذ اصلی صورت گرفته یا به عبارت دیگر نفوذ ماگما در قلمرو C زیرمجموعه ای از نفوذ اصلی است.

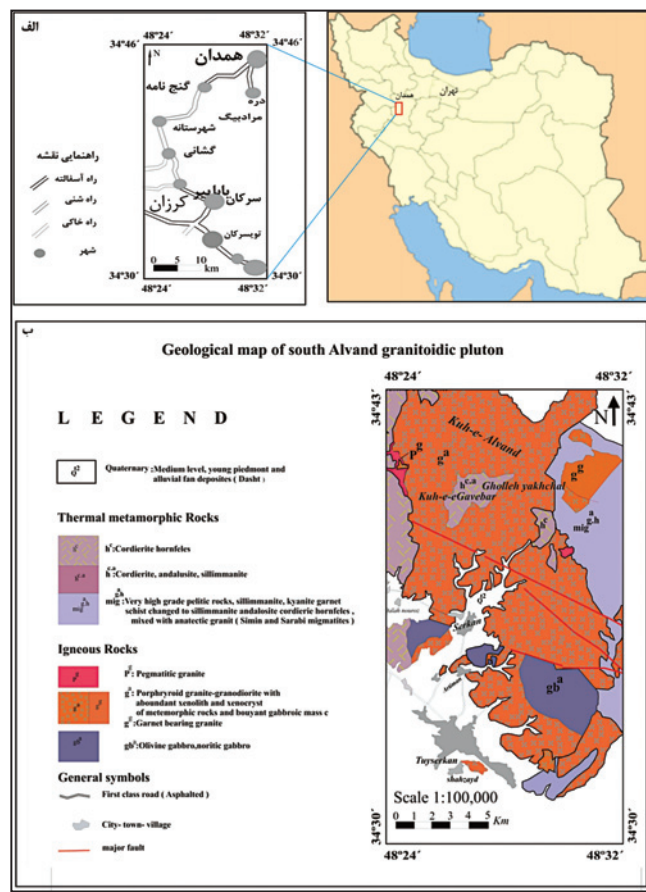
۷- مدل جایگیری بخش جنوبی الوند

محبجل (۱۳۸۴) بر این باور است که در توده الوند دگر ریختی آشکاری مشهود نیست ولی با روند ساختاری سنگ های بستر کشیدگی و چرخش نشان می دهد و خاستگاه ساختاری این توده گرانیتویدی را فضاهای کششی (Extensional shear fracture)، محصول رژیم زمین ساختی ترافشارشی (Transpression) در فرایند همگرایی ارزیابی کرده است.

با بررسی نقشه های خطواره های مغناطیسی، برگواره های مغناطیسی، خطوط مسیر و متغیرهای دیگر از جمله شکل و درجه ناهمسانگردی و مطالعات ریزساختاری، می توان به نتایجی در مورد مدل جایگیری این توده رسید. با مشاهده شکل حلقوی خطوط مسیر، برگواره های مغناطیسی و خطواره های مغناطیسی با شیب زیاد در بخش مرکزی توده که با دور شدن از این بخش شیب آنها کم می شود و حضور گرانیت های درشت بلورتر در این منطقه، می توان محل اصلی تزریق توده را در این بخش دانست که حجم زیادی از ماگما با شیب زیاد از این بخش بالا آمده است (شکل ۱۸). البته افزون بر بخش مرکزی، برگواره ها و خطواره های مغناطیسی با شیب نسبتاً زیاد در قلمروهای A و C نیز مشاهده می شود و همچنین تغییر نسبی امتداد



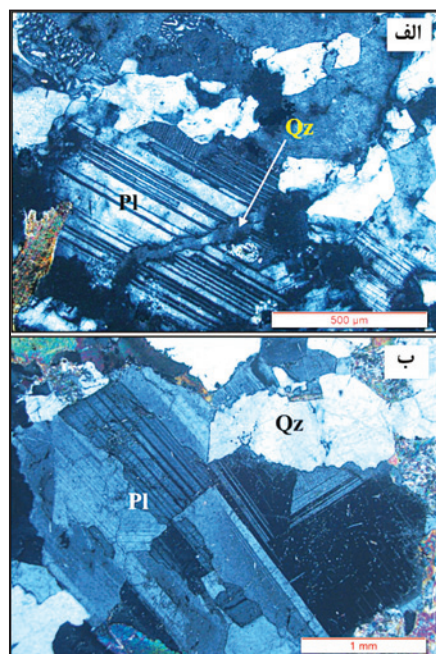
شکل ۲- این شکل رابطه میان متغیرهای L (Lineation) و F (Foliation) و همچنین رابطه آنها را با T نمایش و دامنه تغییرات T را در حالت های Prolate و Oblate نشان می دهد (برگرفته از Tarling & Hrouda, 1993).



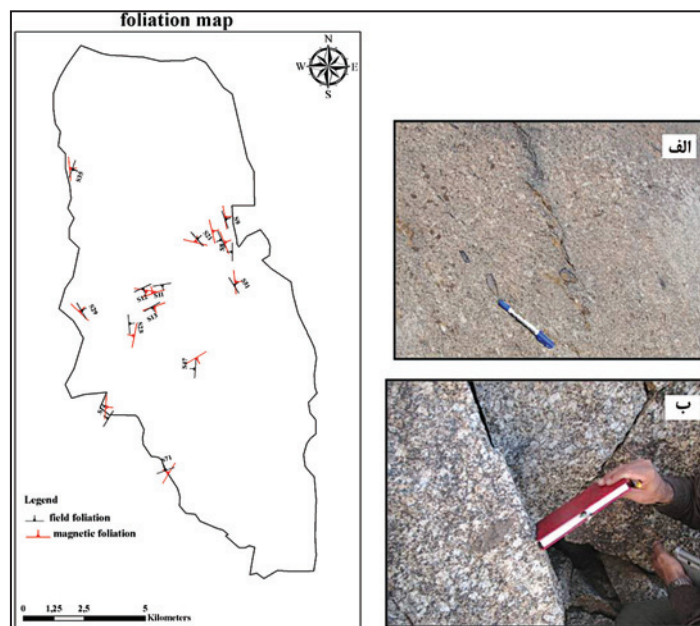
شکل ۱- الف) راه های دسترسی به منطقه مورد مطالعه؛ ب) نقشه زمین شناسی بخش جنوبی توده نفوذی الوند (مبتنی بر تلفیق بخش هایی از نقشه های ۱/۱۰۰۰۰۰ تویسرکان و ۱/۱۰۰۰۰۰ همدان همراه با مقداری اصلاحات).



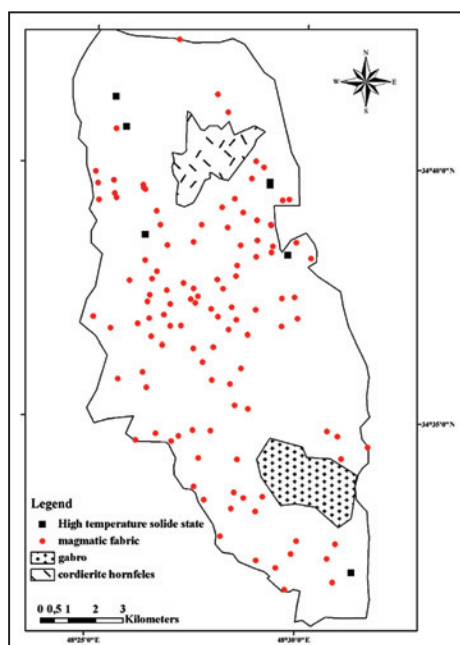
شکل ۳- مراحل نمونه گیری، آماده سازی و اندازه گیری برای مطالعه به روش AMS. الف) مغزه گیری با استفاده از ماشین مغزه گیر؛ ب) اندازه گیری میل و سوی میل مغزه؛ پ) علامت گذاری روی مغزه پس از بیرون آوردن از محل؛ ت) نمونه برش داده شده؛ ث) دستگاه MFK1-F برای اندازه گیری پذیرفتاری مغناطیسی؛ ج) قرار دادن نمونه در دستگاه.



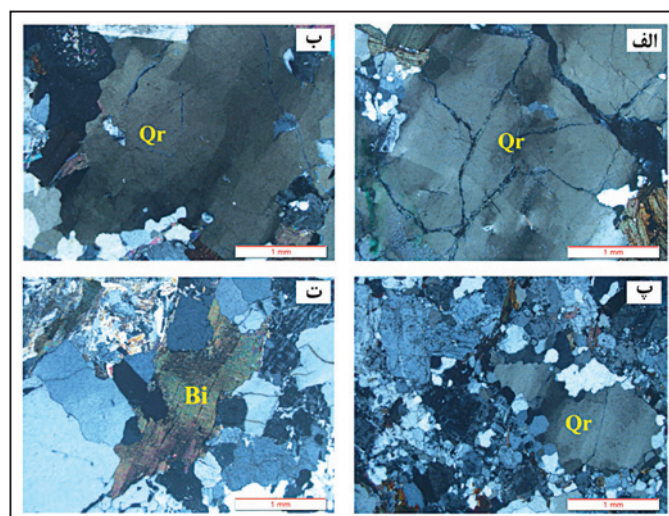
شکل ۵- تصاویری از فابریک‌های ماگمایی و نیمه‌ماگمایی. الف) فابریک نیمه‌ماگمایی که با شکستگی عرضی پلاژیوکلاز و پر شدن آن توسط کوارتز؛ ب) نمایی از بلورهای درشت پلاژیوکلاز و کوارتز با مرزهای سالم در کنار هم در فابریک ماگمایی.



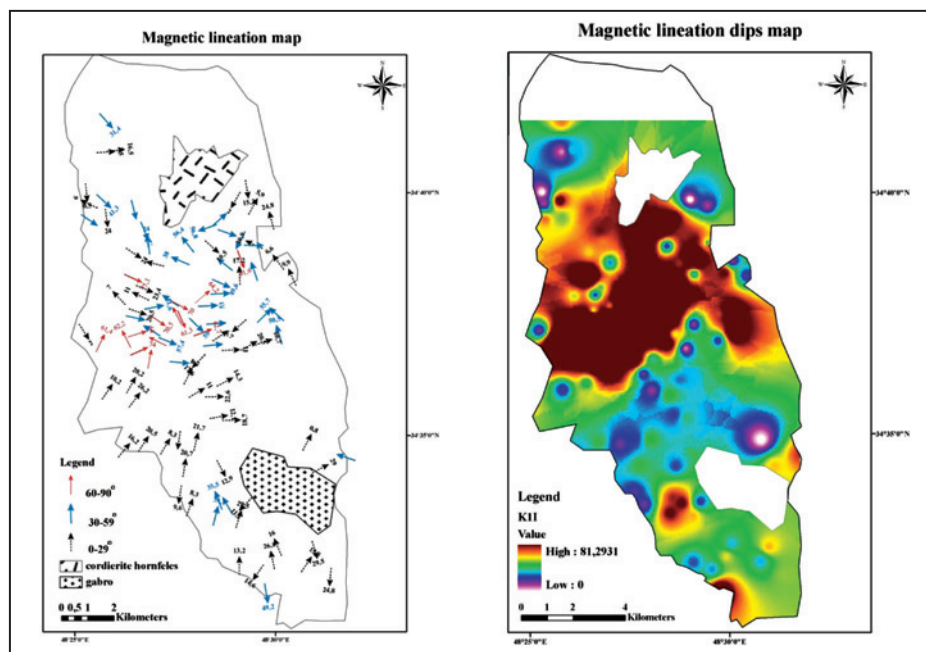
شکل ۴- جهت‌یافتگی بلورهای فلدسپار و آنکلاوها در برداشت صحرایی و مقایسه برگواره‌های اندازه‌گیری شده در صحرابا برگواره‌های مغناطیسی آنها.



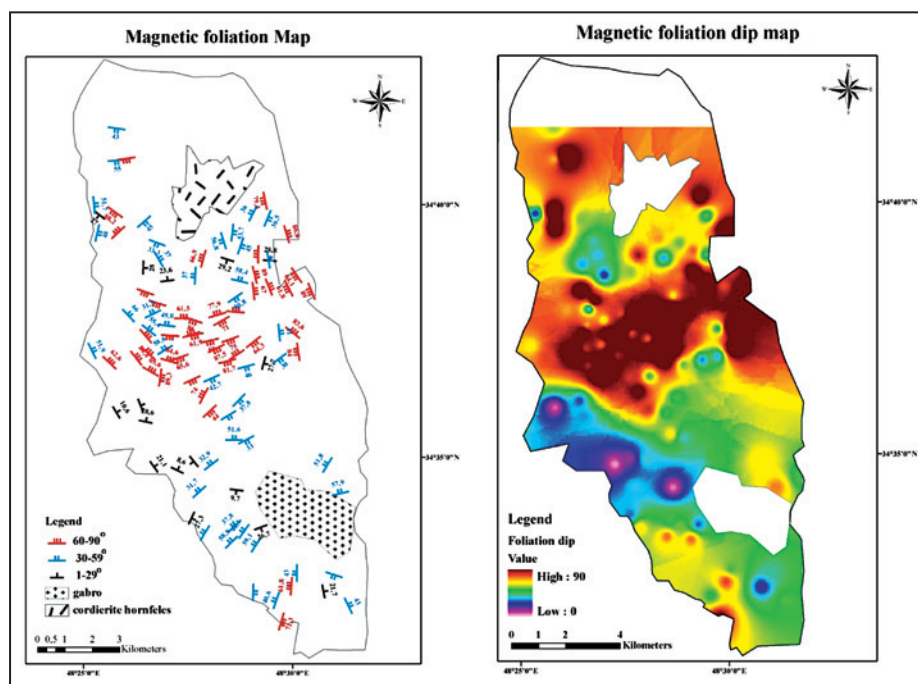
شکل ۷- پراکندگی فابریک‌های ماگمایی و حالت جامد دمای بالا در منطقه مورد مطالعه.



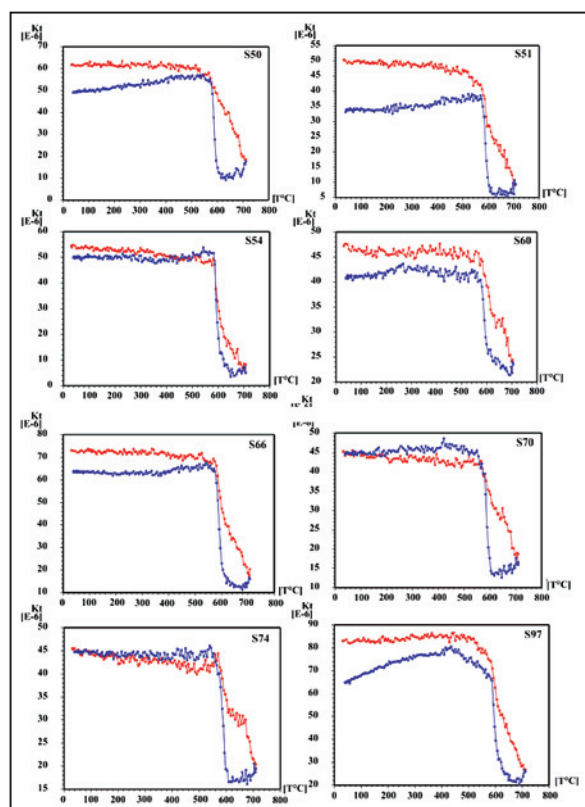
شکل ۶- نمایی از علایم فابریک حالت جامد دمای بالا. الف و ب) کوارتز صفحه شطرنجی دیده می‌شود که با کوارتزهای ریز دربر گرفته شده است و مرزهای مضرسی دارند؛ پ) کوارتز با خاموشی موجی شدید و ریزش‌گی آن در بخش‌های حاشیه‌ای؛ ت) کانی بیوتیت که حالت کینک و خمش نشان می‌دهد.



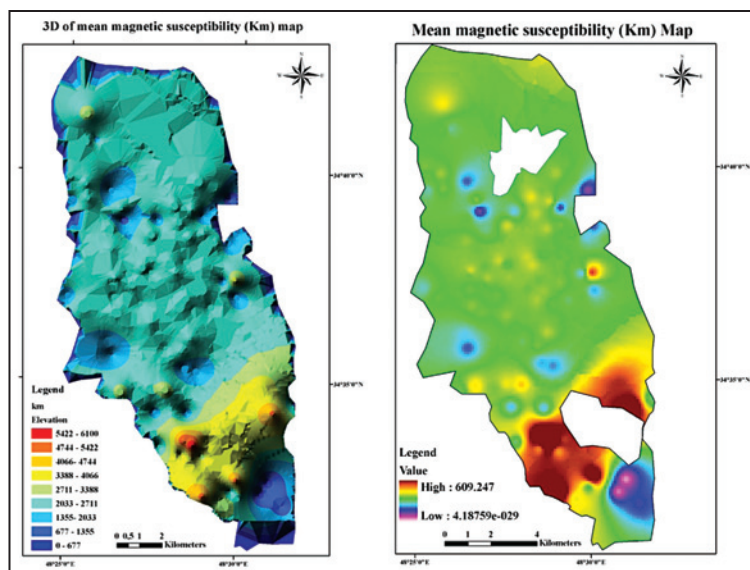
شکل ۸- نقشه پهنه‌بندی تغییرات میل خطوارگی‌های مغناطیسی و نقشه خطوارهای مغناطیسی در بخش جنوبی توده گرانیتویدی الوند.



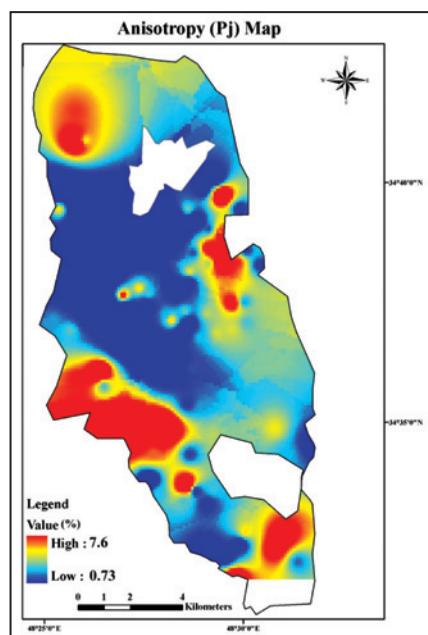
شکل ۹- نقشه برگوارگی و پهنه‌بندی تغییرات شیب برگواره‌های مغناطیسی در بخش جنوبی توده گرانیتویدی الوند.



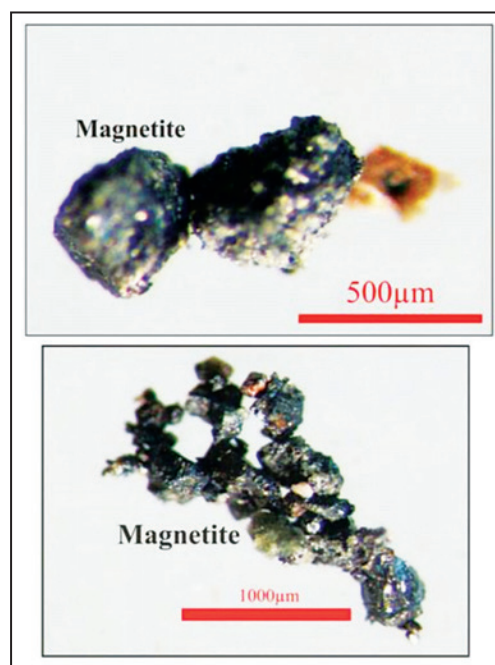
شکل ۱۱- نمودارهای ترمومگنتیک حاصل از آزمایش کانی‌شناسی مغناطیسی به کمک دستگاه CS3، منحنی سرخ مربوط به گرم‌شدگی و منحنی آبی مربوط به سردشدگی است.



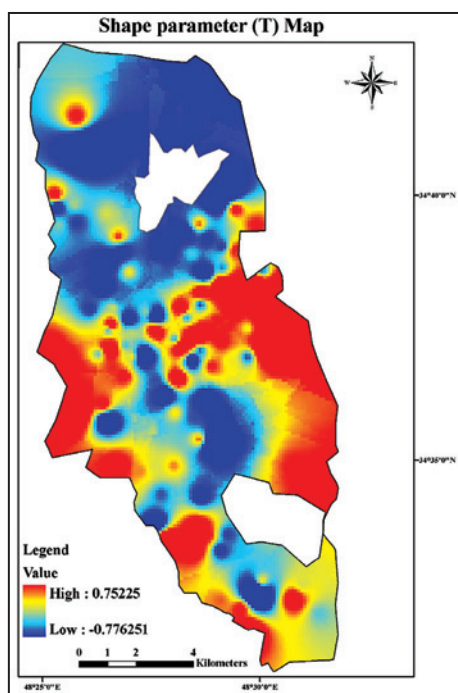
شکل ۱۰- نقشه پهنه‌بندی و نقشه سه‌بعدی تغییرات مقادیر پذیرفتاری مغناطیسی میانگین در بخش جنوبی توده گرانیتویدی الوند



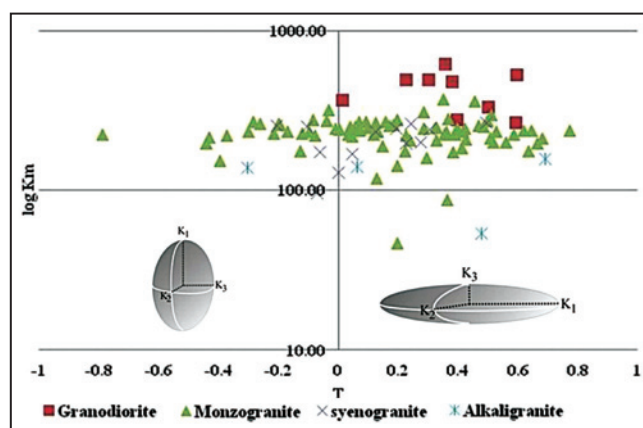
شکل ۱۳- نقشه پهنه‌بندی مقادیر ناهمگنی مغناطیسی در بخش جنوبی توده گرانیتویدی الوند.



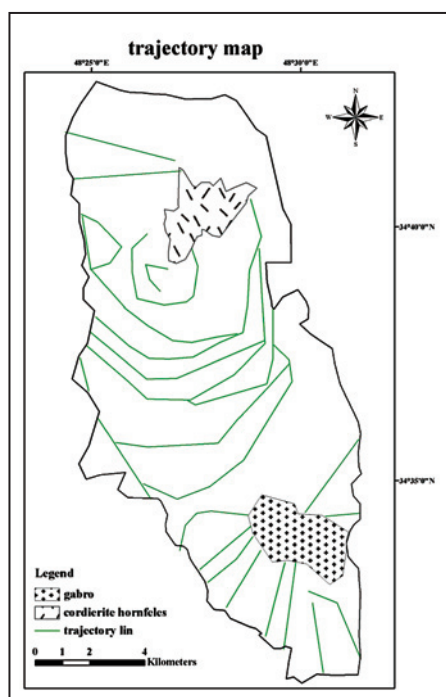
شکل ۱۲- تصاویری از حضور مگنتیت پس از شستشو و جدایش کانی‌ها به روش گرانی.



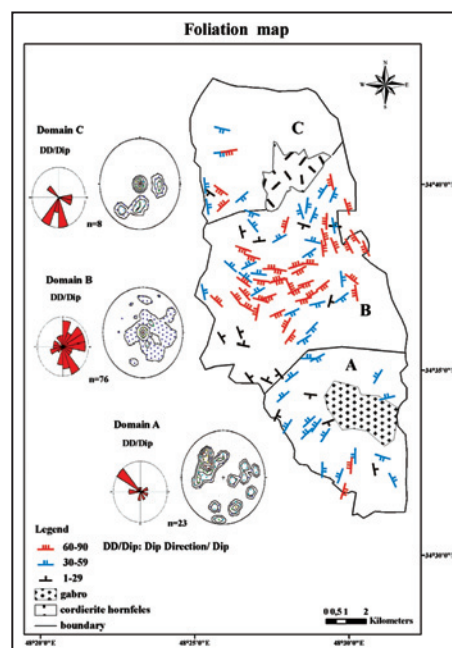
شکل ۱۵- نقشه پهنه‌بندی مقادیر متغیر شکل در بخش جنوبی توده گرانیتیوییدی الوند.



شکل ۱۴- تغییرات مقادیر لگاریتم پذیرفتاری مغناطیسی میانگین در برابر متغیر شکل. بیشتر نمونه‌های مورد مطالعه در محدوده متغیر شکل مثبت جای گرفته‌اند.



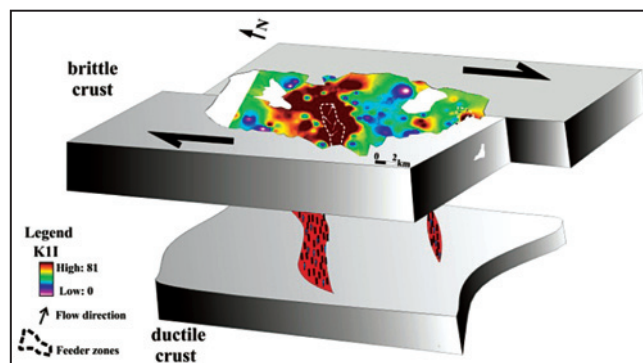
شکل ۱۷- نمایی از خطوط مسیر (Trajectory) حاصل از برگواگی‌های مغناطیسی منطقه.



شکل ۱۶- نقشه قلمروهای نیمه جنوبی توده گرانیتیوییدی الوند بر پایه وضعیت برگواگی‌های مغناطیسی. استریوگرام‌ها و نمودارهای گل سرخی نشان‌دهنده شیب و سوی شیب برگواگی‌های مغناطیسی. n معرف تعداد ایستگاه‌های نمونه‌برداری در هر قلمرو است.

جدول ۱- مقایسه مقادیر پذیرفتاری مغناطیسی بر حسب ترکیب سنگ شناسی در منطقه مورد مطالعه.

نوع سنگ		میانگین Km (μ SI)	۲۰۵
گرانیت	مونوزوگرانیت	۲۵۴	
	سینوگرانیت	۲۲۴	
	آلکالی فلدسپار گرانیت	۱۳۷	
گرانودیوریت		۲۸۲-۶۳۳	۴۵۷/۵



شکل ۱۸- مدل نمادین از نفوذ توده در فضای کششی حاصل از یک رژیم زمین ساختی ترا فشارشی.

کتابنگاری

سپاهی گرو، ع.، ۱۳۷۸- پترولوژی مجموعه پلوتونیک الوند با نگرشی ویژه بر گرانیتوئیدها، رساله دکترا، دانشکده علوم، دانشگاه تربیت معلم تهران، ۳۲۶.
صادقیان، م. و ولی زاده، م.، ۱۳۸۶- سازوکار جایگیری توده گرانیتوئیدی زاهدان در پرتو روش AMS، فصلنامه علوم زمین، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی، شماره ۶۶، ص ۱۵۹-۱۳۴.
محجل، م.، ۱۳۸۴- تأثیر تکتونیک ترا فشارشی (Transpression) در فضا سازی برای نفوذ توده های گرانیتوئیدی پهنه سهندج- سیرجان (بخش شمال غربی)، نهمین انجمن زمین شناسی ایران، ص ۴۷۱-۴۶۱.

References

- Benn, K. & Allard, B., 1989- Preferred mineral orientations related to magmatic flow in ophiolite layered gabbros: *Journal of Petrology* 30:925-946.
- Berberian, M. & King, G. C. P., 1981- Towards a paleogeography and tectonic evolution of iran. *Canadian Journal of Earth Sciences* 18: 210-265.
- Bouchez, J. L., 1997- Granite is never isotropic: An introduction to AMS studies of granitic rocks. In: Bouchez, J.L., Hutton, D.H.W. & Stephens, W.E. (eds) *Granites: From Segregation of Melt to Emplacement Fabrics*. 95-112. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Fernandez, A., 1987- Preferred orientation developed by rigid markers in two dimensional shear strain: A theoretical and experimental study. *tectonophysics*. 136: 151-158.
- Hibbard, M. J., 1987- Deformation of incompletely crystallized magma systems: granitic gneisses and their tectonic implication. *J. Geol.* 95: 543-561.
- Lanza, R. & Meloni A., 2006 -The earth magnetism: An Introduction for geologists, Springer. p 278.
- Mahmoudi, Sh., Carfu, F., Masoudi, F., Mehrabi, B. & Mohajjel, M., 2011- U-Pb dating and emplacement history of granitoid pluton in the northern Sanandaj-Sirjan zon Iran. *Journal of Asian Earth Science* 41: 238-249.
- Mohajjel, M., Fergusson, C. L. & Sahandi, M. R., 2003- Cretaceous-Tertiary convergence and continental collision, Sanandaj-Sirjan Zone, Western Iran. *Journal of Asian Earth Sciences* 21: 397-412.
- Paterson, S. R., Vernon, R. H. & Tobish, O. T., 1989- A review of criteria for the identification of magmatic and tectonic foliation in granitoids. *J. S. G* 11(3): 349-363.
- Ricou, L. E., 1994- Tethys reconstructed: plates, continental fragments and their boundaries since 260 Ma from Central America to South-eastern Asia. *Geodinamica Acta* 7, 169 – 218.
- Saint-Blanquat (de), M. & Tikoff, B., 1997- Development of magmatic to solid-state fabrics during syntectonic emplacement of the Mono Creek Granite Sierra Nevada batholiths, In: Bouchez, J. L., Hutton, D. H. W., & Stefens W. E. (Eds.), *Granite from segregation of melt to emplacement fabrics*, Kluwer Academic Publisher, Dordrecht 231-252.
- Sengör, A. M. C., Altmer, D., Cin, A., Ustaomer, T. & Hsu, K. J., 1988- Origin and assembly of the Tethyside orogenic collage at the expense of Gondwana land. In: Audley-Charles, M.G., Halam, A. (Eds.) *Gonwana and Tethys*. Geological Society of London Special Publication, 37: P, 119-181.
- Shahbazi, H. & Siebel, W., Pourmoafae, M., Ghorbani, M., Sepahi, A. A., Shang, C. K. & Vossoughi 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* 30: 668-683
- Stöcklin, J., 1968- Structural history and tectonics of IRAN: a review . *AAPG Bulletin*. 52 (7):1229-1258
- Tarling, D. H., Hrouda, F., 1993- The magnetic anisotropy of rocks, Chapman & Hall, London. p.217.-Lanza R. and Meloni A. 2006- The earth magnetism: An Introduction for geologists, Springer 278 pp

Microstructural Investigation of Southern Alvand Batholith Using Anisotropy of Magnetic Susceptibility (AMS)

A. Aslani ¹, H. Alimohammadian ^{2*}, J. Ghalamghash ³ & H. Nazari ³

¹ M.Sc. Student, Research Institute for Earth Sciences, Geological Survey of Iran, Tehran, Iran

² Ph.D., Geological Survey of Iran, Tehran, Iran

³ Assistant Professor, Research Institute for Earth Sciences, Geological Survey of Iran, Tehran, Iran

Received: 2012 July 15

Accepted: 2013 June 15

Abstract

The studied locality covers an area of 120 km² located at south and southwest of the Hamedan city. The porphyritic granite is the dominant volume of this intrusive body. This granitoid is divided into the granites (monzogranites, syenogranites and alkali feldspar granites) and granodiorites from petrographic point of view. The major part of the study area have magmatic-sub-magmatic fabric and few of the samples show high temperature solid state deformation with presence of chess-board quartz, bending and kink band of biotite and mineral size decreasing from microstructural point of view. The total numbers of 450 oriented core samples were collected from 107 stations, to study the anisotropy of magnetic susceptibility. The total average susceptibility for all samples were 114-314 μ SI and the mean susceptibility (Km) of granodiorites was 457.5 μ SI, and it ranges from 282-633 μ SI, which is higher in compare to granites. This difference is due to the presence of magnetite grains in granodiorites, which has been proved by heavy mineral analysis. The magnetite comprises 0.01-0.025 % of total volume in these rocks. The Km normally varies from 14-514 μ SI and indicates the paramagnetic type of granites. The P values vary from 0.72-7.4 %. The T values in most of the samples is positive (T>0) and show planer nature of most of the intrusive body. The high degree of dipping of magnetic foliation and lineation at the central part of the intrusive body, which decreases with increasing distance from center of the intrusive body, may indicate the location of feeding. This characterization can be seen at two other places addition to the center. On the basis of magnetic parameter and other factors such as dominant transpression tectonic regime in this area, one can say that the ascending magma was due existing of stretching environment with NW-SE trend, and this can be proved by direction of magnetic lineations at the same direction. The differences in the direction of NE-SW, which some of the studied sites show, may be due to rotation of magnetic body during injection and emplacement in response to prevailing tectonic forces in studied area and viscosity of magma.

Keywords: Alvand granitoid, Magmatic fabric, Anisotropy of magnetic susceptibility (AMS).

For Persian Version see pages 137 to 146

*Corresponding author: H. Alimohammadian; E-mail: halimohammadian@gmail.com