

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

عاتکه اصلانی<sup>۱</sup>، حبیب علیمحمدیان<sup>۲\*</sup>، جلیل قلمقاش<sup>۳</sup> و حمید نظری<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup>دانشجوی کارشناسی ارشد، پژوهشکده علوم زمین، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، ایران

<sup>۲</sup>دکتر، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، ایران

<sup>۳</sup>استادیار، 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 پورفایرویدی است. در مطالعات سنگ نگراری گرانیتویدهای این منطقه به گرانیت‌ها (مونزوگرانیت‌ها، سینوگرانیت‌ها 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 کوارتزهای صفحه شطرنجی، بیوتیت‌های دارای حالت کینک و خمیدگی و ریزش‌دگی کانی‌ها را نشان می‌دهند. در منطقه مورد مطالعه، از ۱۰۷ ایستگاه، ۴۰۳ مغزه جهت دار برای مطالعات ناهمسانگردی پذیرفتاری مغناطیسی تهیه شد. مقادیر پذیرفتاری مغناطیسی به طور متوسط برای کل نمونه‌ها بین ۱۱۴-۳۱۴  $\mu\text{SI}$  و میانگین مقدار حساسیت مغناطیسی ( $K_m$ )، برای گرانودیوریت‌ها ( $\mu\text{SI}$ ) ۴۵۷/۵ و دامنه تغییرات آنها از ۲۸۲ تا ۶۳۳ ( $\mu\text{SI}$ ) 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 ۰/۰۱ تا ۰/۰۲۵ درصد برآورد شده است. مقدار پذیرفتاری مغناطیسی میانگین (Km) که بیشتر بین ۱۴ تا ۵۱۴  $\mu\text{SI}$  است نشان‌دهنده گرانیت پارامگناطیس است. مقدار P در گرانیتویدهای 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 بخش‌ها 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 ترفشارشی 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:** گرانیتوید الوند، فابریک ماگمایی، ناهمسانگردی پذیرفتاری مغناطیسی (AMS).

\*نویسنده مسئول: حبیب علیمحمدیان

E-mail: halimohammadian@gmail.com

## ۱- پیش گفتار

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 سندانج- سیرجان (Stöcklin, 1968) جای گرفته است. پهنه سندانج- 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).

بخش جنوبی توده گرانیتویدی 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 گرانیتویدها (مونزوگرانیت‌ها، سینوگرانیت‌ها، 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 جهت دار مثل بیوتیت و هورنفلند

#### 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، مغزه‌هایی به طول ۱۰۰ تا ۱۵۰ میلی‌متر و قطر ۲۵ میلی‌متر از سنگ‌هایی با رخنمون تازه و بدون هوازدگی برداشت شد. در حالی که میل و سوی میل این مغزه‌ها پیش از جدا کردن آنها از بدنه سنگ‌ها اندازه‌گیری شد. نمونه‌های اندازه‌گیری شده جهت دار به آزمایشگاه دیرینه مغناطیسی مستقر در سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور انتقال یافته و به اندازه‌های ۲۲ میلی‌متر توسط دستگاه برش مخصوص این کار، برش داده شد تا قابل استفاده در دستگاه اندازه‌گیری خودپذیری مغناطیسی مدل MFK1-F باشد. از ۱۰۷ ایستگاه نمونه برداری، ۴۰۳ مغزه جهت‌دار تهیه شد.

##### ۴-۲. کارهای آزمایشگاهی

پس از برش نمونه‌ها، برای اندازه‌گیری متغیرهای مغناطیسی از دستگاه مغناطیس‌سنج مدل MFK1-F استفاده شد. نمونه‌ها در سه جهت، پیرامون محورهای X, Y, Z در دستگاه قرار داده و پذیرفتاری مغناطیسی آنها اندازه‌گیری شد (شکل‌های ۳- الف و ج). در ادامه داده‌های مربوط با فرمت Ran ثبت و ذخیره شد. سپس این داده‌ها توسط نرم‌افزار Anisoft 4.2 مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. البته برای رسم نقشه‌های مورد نیاز برای تحلیل بهتر داده‌ها، از نرم‌افزار Arc GIS 9.3 نیز استفاده شد. برای مطالعات سنگ‌نگاری و ریزساختاری از ته‌مغزه‌های ۸۰ ایستگاه برای تهیه مقاطع نازک در کارگاه مقطع‌گیری سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور استفاده شد.

#### ۵- بحث

##### ۵-۱. سنگ‌نگاری

گرانیتوئیدهای پورفیروئیدی در مشاهدات صحرایی به صورت درشت‌بلور و در مناطقی به صورت متوسط‌بلور مشاهده می‌شوند که در نوع درشت‌بلور اندازه فلدسپارها، نسبت به نوع متوسط‌بلور، خیلی درشت‌تر است. افزون بر این درون گرانیتوئیدهای این منطقه آنکلاوهای میکروگرانولار و رسیت‌هایی دیده می‌شوند که در برخی محل‌ها این آنکلاوها، همسو با فلدسپارها کشیده شده‌اند و حالت بیضوی به خود گرفته‌اند البته سوی بر گوارگی‌های اندازه‌گیری شده در صحرا با سوی بر گوارگی‌های مغناطیسی در آن نقاط تقریباً همخوانی دارند که می‌تواند نشان‌دهنده جهت‌یافتگی‌های ناشی از جریان ماگما باشند (شکل ۴). با مطالعه سنگ‌نگاری، گرانیتوئیدهای این منطقه به گرانیت‌ها (مونوزوگرانیت‌ها، سینوگرانیت‌ها و آلکالی فلدسپار گرانیت‌ها) و گرانودیوریت‌ها تقسیم‌بندی شدند.

بافت گرانیت‌ها بیشتر ساب‌هدرال گرانولار است ولی بافت‌های میرمکتی و پرتیتی نیز در آنها دیده می‌شود. کانی‌های اصلی گرانیت‌ها، شامل کوارتز، فلدسپارهای قلیایی (اورتوز و میکروکلین)، پلاژیوکلاز، بیوتیت و گاهی مسکوویت و کانی‌های فرعی در این سنگ‌ها شامل زیرکن، کانی‌های کیدر (ایلمنیت، هماتیت، اکسیدهای آهن) ± آپاتیت ± تورمالین ± گارنت ± اسفن هستند. کانی‌های ثانویه کلریت و سرسیت در تعدادی از مقاطع مشاهده شدند.

گرانودیوریت‌ها بافت ساب‌هدرال گرانولار و گاهی بافت میرمکتی دارند و در آنها اندازه بلورها نسبت به گرانیت‌ها کوچک‌تر است. در این سنگ‌ها کوارتز، پلاژیوکلاز، فلدسپار قلیایی (ارتوکلاز و گاهی میکروکلین)، بیوتیت ± هورنبلند کانی‌های اصلی سنگ و زیرکن، کانی‌های کیدر، گارنت، تورمالین، اسفن و آپاتیت کانی‌های فرعی هستند. در مطالعات میکروسکوپی میکرو آنکلاوهای سورمیکاسه در گرانودیوریت‌ها مشاهده شد که دارای شکل بیضی و تقریباً کشیده و با اندازه تقریبی ۳ تا ۵ میلی‌متر طول و ۱ تا ۲ میلی‌متر عرض هستند.

از دید سنگ‌شناسی بیشترین حجم این توده در منطقه مورد مطالعه گرانیت پورفیروئید است و این در حالی است که گابروها حجم کوچکی را در بخش جنوبی توده نفوذی الوند به خود اختصاص داده‌اند. در این مطالعه بخش‌های گرانیتوئیدی این توده، مورد مطالعه قرار گرفته است. سپاهی گرو (۱۳۷۸) بر این باور است که در این منطقه، ماگماهای گابروئیدی گوشته‌ای از یک سو و ماگماهای آاناتکتیک پوسته‌ای از سوی دیگر به صورت پی‌درپی و گاه همزمان با هم تزریق شده و طیف گسترده‌ای از سنگ‌ها را با خاستگاه پوسته‌ای (آاناتکتیک)، گوشته‌ای و دو رگه ایجاد کرده‌اند. بر پایه آخرین تعیین سن‌های رادیومتری سن ۱۶۵-۱۶۲ میلیون سال پیش برای گرانیتوئیدها به دست آمده است (Shahbazi et al., 2010; Mahmoudi et al., 2011).

#### ۳- متغیرهای مغناطیسی

برای استفاده از روش AMS، آشنایی با فابریک‌های 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 اندازه‌گیری خودپذیری مغناطیسی قرار می‌گیرد، این دستگاه با حرکت دادن نمونه درون سیم‌پیچ، یک میدان H (با واحد آمپر بر متر A/M) بر نمونه القا می‌کند و نمونه نیز میدان مغناطیسی برابر با M (با واحد آمپر بر متر A/M) پیدا می‌کند.

$$M=KH$$

K ضریب حساسیت مغناطیسی نامیده می‌شود. K بدون بعد است و به نوع ماده بستگی دارد. K رابطه‌ای خطی است و شیب نمودار M بر حسب H را نشان می‌دهد. اگر بردارهای مغناطیسی را در یک فضای بیضوی تجسم کنیم، می‌توان ۳ بردار  $K_{mi}$ ،  $K_{int}$  و  $K_{max}$  را تعریف کرد که  $K_{max}$  (بزرگ‌ترین محور بیضوی)،  $K_{int}$  (محور متوسط بیضوی)، و  $K_{min}$  (محور کوچک بیضوی) را تعریف می‌کند (Tarling & Hrouda, 1993).

$K_1$  به عنوان خطوارگی مغناطیسی (Magnetic Lineation) شناخته می‌شود،  $K_3$  ( $K_{min}$ ) که بردار کمترین مقدار پذیرفتاری مغناطیسی را تعریف می‌کند به عنوان قطب برگوارگی مغناطیسی (Magnetic Foliation) شناخته می‌شود (صادقیان و ولی‌زاده، ۱۳۸۶) و مقدار  $K_{int}$  به عنوان میانگین عددی  $K_{max}$  و  $K_{min}$  نیست، بلکه مقدار آن در محدوده میان آنها تغییر می‌کند که تجسم بیضوی مغناطیسی را امکان‌پذیر می‌سازد (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 می‌شود، بدون بعد است، ولی در اندازه‌گیری‌ها، بر پایه SI یا  $\mu SI$  تعریف می‌شود، 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 می‌دهد. هنگامی که  $K_1 = K_2 = K_3$  باشد، مقدار P برابر ۱ خواهد بود و فضای مغناطیسی ۳ بعدی به شکل کره در می‌آید ولی هرچه میزان حساسیت مغناطیسی بیشتر باشد، میان محورهای تفاوت بیشتری ایجاد و درجات ناهمسانگردی بیشتر می‌شود.

##### ۳-۳. متغیر شکل (T)

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

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

## ۵-۲. مطالعات ریزساختاری

در طی مطالعات ریزساختاری، 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 کوارتزها و حالت کینک و خمیدگی و پیچ و تاب در میکاها مشخص هستند (Saint-Blanquat & Tikoff, 1997). در این فابریک ریزشدهگی 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 کوارتزهای صفحه شطرنجی، بیوتیت‌های دارای حالت کینک و خمیدگی و ریزشدهگی 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 ۱۱۴-۱۳۴  $\mu SI$  و میانگین مقدار پذیرفتاری مغناطیسی ( $K_m$ )، برای گرانودیوریت‌ها که در بخش جنوب باختری توده مورد رخنمون دارند

( $\mu SI$ ) ۴۵۷/۵ دامنه تغییرات آنها از ۲۸۲ تا ۶۳۳ ( $\mu SI$ ) است که نسبت به گرانیت‌ها (موزو و گرانیت‌ها و سینوگرانیت‌ها و آلکالی‌گرانیت‌ها)  $K_m$  بالاتری دارند (جدول ۱). فراوانی بیوتیت‌ها و حضور دیگر کانی‌های پارامغناطیس از جمله هورنبلند، اسفن و ایلمنیت و حضور میکرو آنکلاوهای سورمیکاسه و کانی‌های فرومغناطیس 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  $\mu SI$  با تعلق داشتن این توده نفوذی به گرانیت‌های پارامغناطیس 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 سانتی‌گراد (مطابق با دمای کوری مگنتیت) مؤید این امر است (شکل ۱۱).

• **آزمایش کانی سنگین:** برای تأیید نتیجه آزمایش کانی‌شناسی 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 مقدارهای مثبت دارند. در شکل ۱۵ مقادیر مثبت، شکل کلوچه‌ای بیضوی مغناطیسی و در نتیجه چیرگی متغیر برگوارگی بر خطوارگی در این بخش‌ها 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- قلمروبندی 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 موزوگرانیت و سینوگرانیت 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 گل‌سرخ 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، می‌توانند شاهد احتمالی از وجود مناطق تزریق فرعی ماگما باشد. این دو منطقه تغذیه نسبت به مرکز توده گسترده‌تری کمتر و بر گوارها و خطواره‌های مغناطیسی شیب کمتری دارند. نقشه متغیر شکل نیز این مطلب را تأیید می‌کند. زیرا در منطقه‌ای که محل تزریق ماگماست متغیر شکل دوکی شکل و نشانه بالا آمدگی ماگما از این محل هاست.

#### ۸- نتیجه گیری

گرانیت‌ها بیشتر گرانیتویدهای منطقه را تشکیل می‌دهند که طی مطالعات سنگ‌نگاری شامل مونزوگرانیت، سینوگرانیت و فلدسپار قلیایی گرانیت هستند. گرانودیوریت‌ها سهم کمی از گرانیتویدها را در بخش جنوبی منطقه به خود اختصاص داده‌اند. جهت یافتگی فلدسپارها و برخی از آنکلاوهای با بر گوارها‌های مغناطیسی تقریباً هم جهت هستند و می‌توانند شاهدهی بر ایجاد جهت یافتگی‌ها در طی جریان ماگما باشند.

در طی مطالعات ریزساختاری، وجود فابریک‌های ماگمایی، نیمه ماگمایی و حالت جامد دمای بالا در سنگ‌های مطالعه شده، آشکار شد و بیشتر نیز فابریک ماگمایی و به مقدار خیلی کمی فابریک حالت جامد دمابالا بوده‌اند.

طی مطالعات AMS انجام شده در منطقه، گرانودیوریت‌ها مقدار پذیرفتاری مغناطیسی میانگین ( $K_{III}$ )، بیشتری را نسبت به گرانیت‌ها از خود نشان داده‌اند. تفاوت در مقدار  $K_{III}$  گرانودیوریت‌ها از فراوانی بیشتر کانی‌های پارامغناطیس مانند بیوتیت، ایلمنیت و کانی‌های فرومغناطیس مگنتیت و هماتیت ناشی شده است، ولی افزون بر این حضور میکروآنکلاوهای سورمیکاسه و کانی هورنبلند و اسفن در برخی از گرانودیوریت‌ها نیز در این امر سهیم بوده است.

حضور مگنتیت در این سنگ‌ها به وسیله روش کانی‌شناسی مغناطیسی و آزمایش کانی سنگین اثبات شده و حجم آن در این سنگ‌ها حدود ۰/۱ تا ۰/۰۲۵ درصد برآورد شده است.

در بیشتر نمونه‌ها مقدار متغیر شکل مثبت و کلوجهی است که بیشتر در حاشیه توده هستند و گرانودیوریت‌ها بیشتر درجه ناهمسانگردی مغناطیسی کم دارند ولی گرانیت‌ها دارای مقدار تغییرات بیشتری هستند.

بر پایه همه شواهد مغناطیسی که تاکنون در منطقه گفته شد و رژیم زمین‌ساختی ترفشارشی حاکم بر این منطقه می‌توان 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 شکاف‌های محلی دیگر که می‌توانند محل‌های تغذیه فرعی در منطقه باشند.

#### سپاسگزاری

نویسنده اول از ریاست محترم سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور جناب آقای مهندس کره‌ای و معاونت محترم وقت زمین‌شناسی جناب آقای دکتر قاسمی به دلیل حمایت و فراهم کردن امکان انجام این پژوهش و همچنین از همکاری گروه‌های مختلف آزمایشگاهی و بخش حمل و نقل سازمان زمین‌شناسی سپاسگزاری می‌کند.

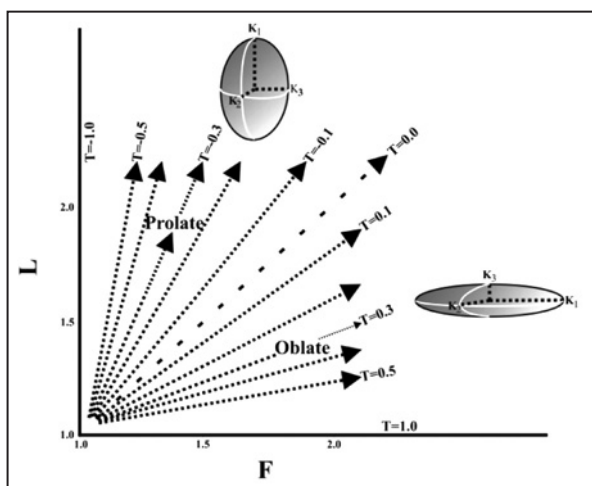
بیشتر خطواره‌ها، در بخش مرکزی قلمرو B (محل احتمالی تزریق توده) بیشتر شیب زیاد و روند شمال باختری - جنوب‌خاوری نشان می‌دهند که نشان‌دهنده گسترش آنها در جهت کشش است زیرا خاستگاه ساختاری گرانیتوید الوند، فضای کششی محصول رژیم ساختی ترفشارشی در فرایند همگرایی ارزیابی شده است (مجله، ۱۳۸۴). ولی با فاصله گرفتن از این منطقه بیشتر خطواره‌ها روند شمال خاوری - جنوب باختری می‌گیرند، این روندها می‌تواند ناشی از چرخش راست‌گرد توده هنگام تزریق و در نتیجه تأثیر آن روی سوی جریان ماگما باشد، که این چرخش گویی در مرکز توده که روند خطوارگی‌ها NW-SE است تأثیر کمتری داشته است. در این قلمرو بر گوارها‌های بیشتر دارای شیب زیاد و متوسط هستند و تعدادی نیز شیب کم دارند. این می‌تواند 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) بر گوارها‌های مغناطیسی (شکل ۱۷) در قلمرو B، همه خطوط تقریباً یک شکل نیم دایره را نشان می‌دهند که به ترتیب از مرکز توده قطر این نیم دایره‌ها افزایش می‌یابد. این امر نشان‌دهنده تزریق ماگما از مرکز و گسترش جانبی جریان ماگمایی است. با مشاهده دقیق تر خطوط مسیر بر گوارگی مشاهده می‌شود که فاصله این خطوط در بخش خاوری توده به هم نزدیک تر است و در بخش باختری توده از هم دورتر می‌شوند، این حالت می‌تواند در اثر تأثیر توأم چرخش ماگما هنگام تزریق و نیروی زمین‌ساختی ناشی از فرورانش به وجود آید.

در قلمرو C بیشتر میل خطواره‌ها به سوی جنوب خاوری و شیب آنها نیز کم و متوسط است. بر گوارها‌ها نیز دارای شیب زیاد تا کم هستند. حضور بر گوارها‌های مغناطیسی از شیب زیاد به کم و چگونگی قرارگیری تعدادی از آنها که ایجاد خطوط مسیر حلقوی کرده است می‌تواند 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 زیرمجموعه‌ای از نفوذ اصلی است.

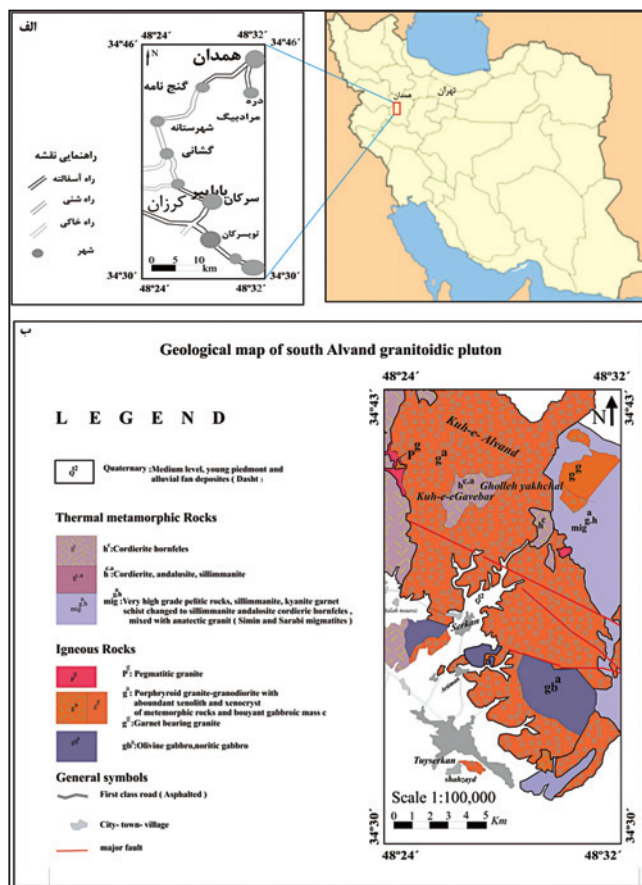
#### ۷- مدل جایگیری بخش جنوبی الوند

مجله (۱۳۸۴) بر این باور است که در توده الوند دگر ریختی آشکاری مشهود نیست ولی با روند ساختاری سنگ‌های بستر کشیدگی و چرخش نشان می‌دهد و خاستگاه ساختاری این توده گرانیتویدی را فضا‌های کششی (Extensional shear fracture)، محصول رژیم زمین‌ساختی ترفشارشی (Transpression) در فرایند همگرایی ارزیابی کرده است.

با بررسی نقشه‌های خطواره‌های مغناطیسی، بر گوارها‌های مغناطیسی، خطوط مسیر و متغیرهای دیگر از جمله شکل و درجه ناهمسانگردی و مطالعات ریزساختاری، می‌توان به نتایجی در مورد مدل جایگیری این توده رسید. با مشاهده شکل حلقوی خطوط مسیر، بر گوارها‌های مغناطیسی و خطواره‌های مغناطیسی با شیب زیاد در بخش مرکزی توده که با دور شدن از این بخش شیب آنها کم می‌شود و حضور گرانیت‌های درشت‌بلورتر در این منطقه، می‌توان 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، بر گوارها‌ها و خطواره‌های مغناطیسی با شیب نسبتاً زیاد در قلمروهای A و C نیز مشاهده می‌شود و همچنین تغییر نسبی امتداد



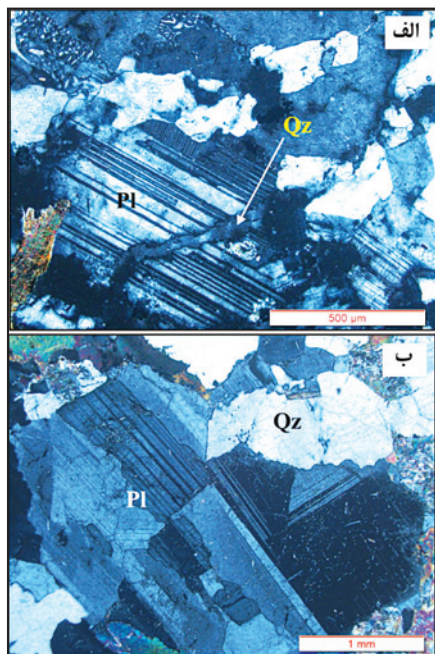
شکل ۲- این شکل رابطه میان متغیرهای L (Lineation) و F (Foliation) و همچنین رابطه آنها را با T نمایش و دامنه تغییرات T را در حالت‌های Prolate و Oblate نشان می‌دهد (برگرفته از Tarling & Hrouda, 1993).



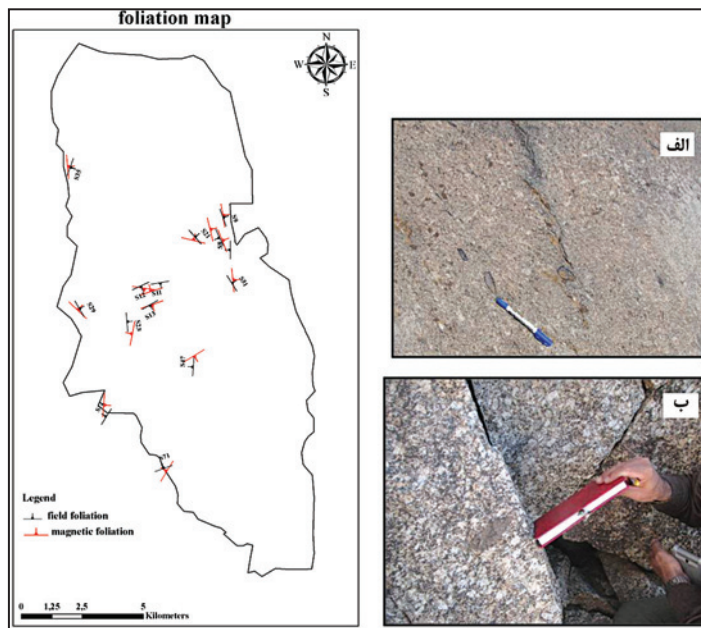
شکل ۱- الف) راه‌های دسترسی به منطقه مورد مطالعه؛ ب) نقشه زمین‌شناسی بخش جنوبی توده نفوذی الوند (مبتنی بر تلفیق بخش‌هایی از نقشه‌های ۱/۱۰۰۰۰۰ تویسرکان و ۱/۱۰۰۰۰۰ همدان همراه با مقدراری اصلاحات).



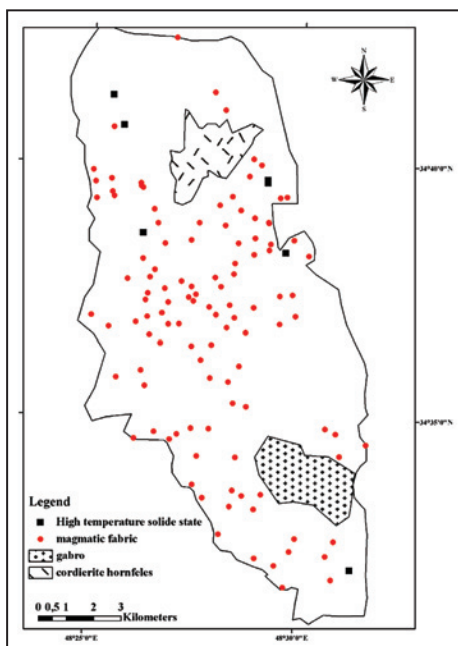
شکل ۳- مراحل نمونه‌گیری، آماده‌سازی و اندازه‌گیری برای مطالعه به روش AMS. الف) مغزه‌گیری با استفاده از ماشین مغزه‌گیر؛ ب) اندازه‌گیری میل و سوی میل مغزه؛ پ) علامت‌گذاری روی مغزه پس از بیرون آوردن از محل؛ ت) نمونه برش داده شده؛ ث) دستگاه MFK1-F برای اندازه‌گیری پذیرفتاری مغناطیسی؛ ج) قرار دادن نمونه در دستگاه.



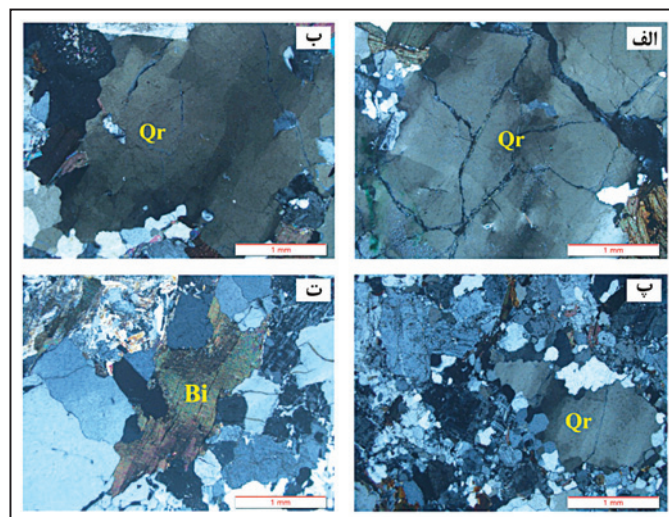
شکل ۵- تصاویری از فابریک‌های ماگمایی و نیمه‌ماگمایی. الف) فابریک نیمه‌ماگمایی که با شکستگی عرضی پلاژیوکلاز و پر شدن آن توسط کوارتز؛ ب) نمایی از بلورهای درشت پلاژیوکلاز و کوارتز با مرزهای سالم در کنار هم در فابریک ماگمایی.



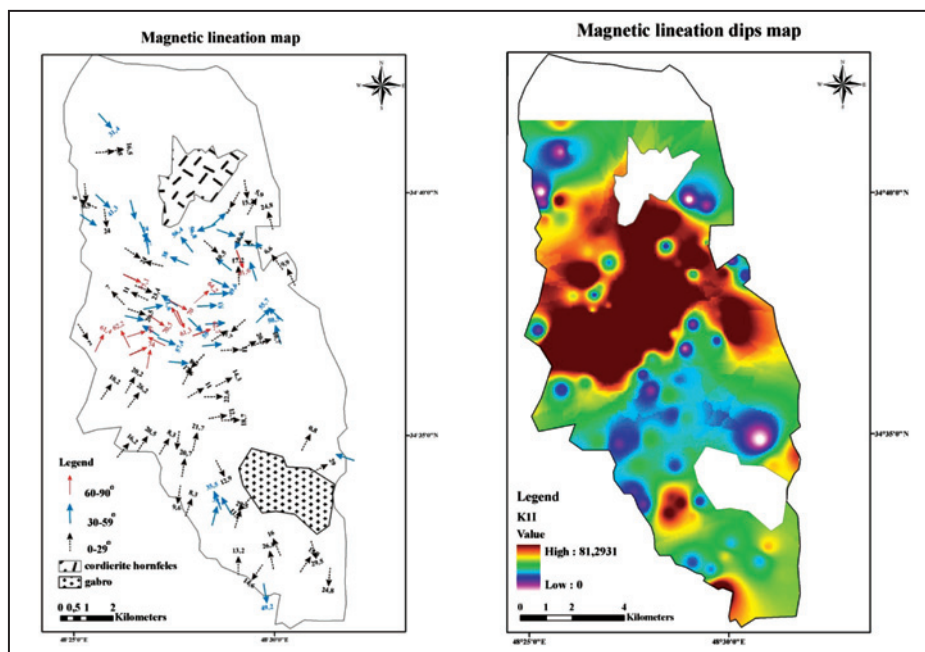
شکل ۴- جهت‌یافتگی بلورهای فلدسپار و آنکلاوها در برداشت صحرائی و مقایسه بر گواره‌های اندازه‌گیری شده در صحرا با بر گواره‌های مغناطیسی آنها.



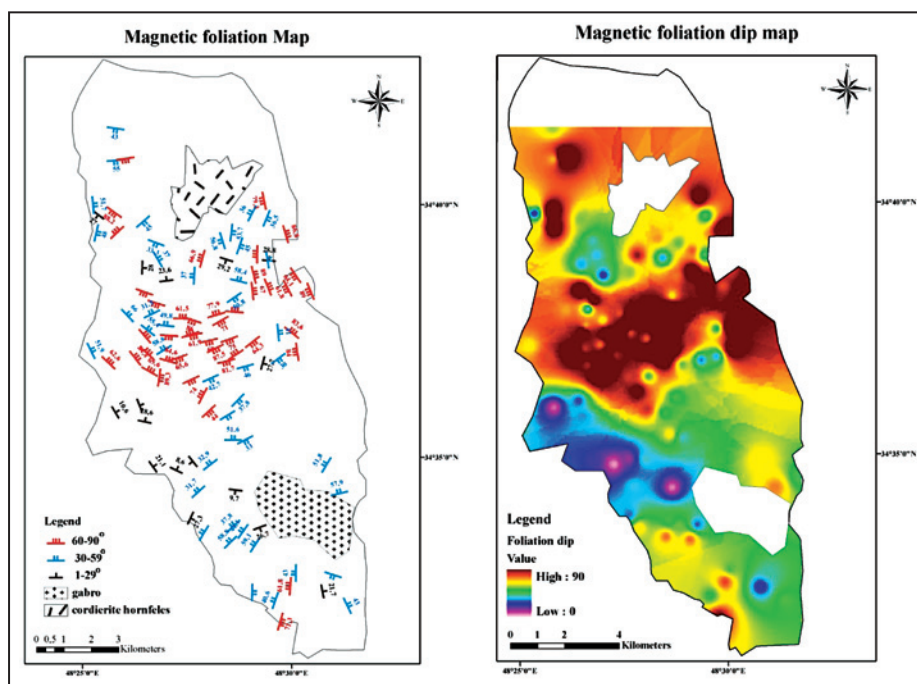
شکل ۷- پراکنندگی فابریک‌های ماگمایی و حالت جامد دمای بالا در منطقه مورد مطالعه.



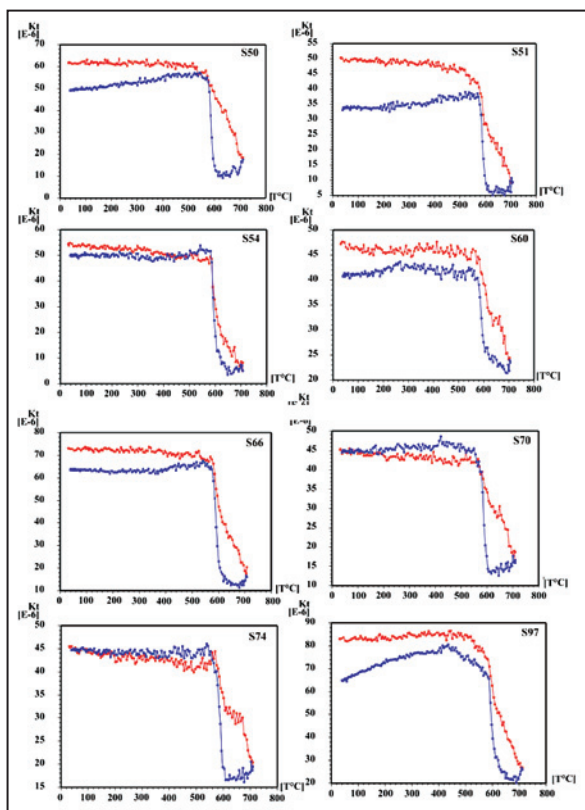
شکل ۶- نمایی از علایم فابریک حالت جامد دمای بالا. الف و ب) کوارتز صفحه‌شطرنجی دیده می‌شود که با کوارتزهای ریز دربر گرفته شده است و مرزهای مضرسی دارند؛ ب) کوارتز با خاموشی موجی شدید و ریزش‌گی آن در بخش‌های حاشیه‌ای؛ ت) کانی بیوتیت که حالت کینک و خمش نشان می‌دهد.



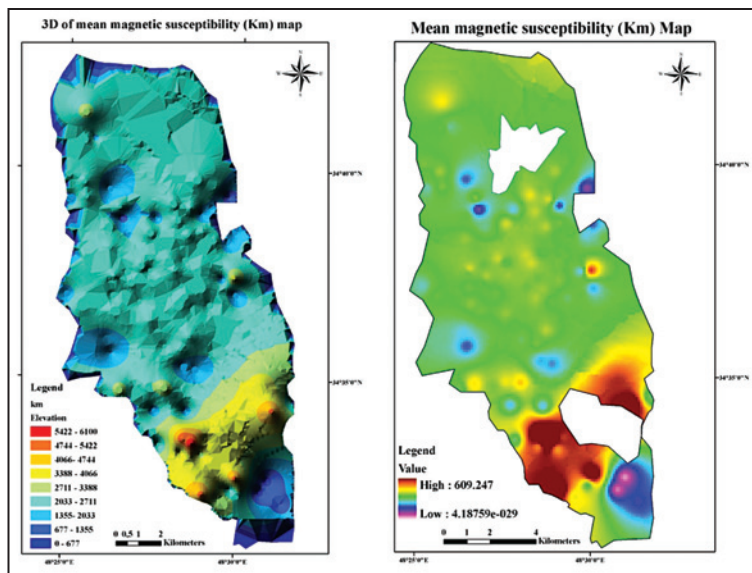
شکل ۸- نقشه پهنه‌بندی تغییرات میل خطوارگی‌های مغناطیسی و نقشه خطوارهای مغناطیسی در بخش جنوبی توده گرانیتیوی‌دی الوند.



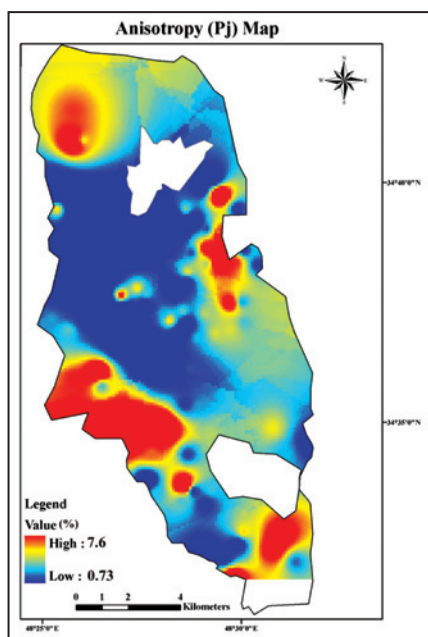
شکل ۹- نقشه برگوارگی و پهنه‌بندی تغییرات شیب برگواره‌های مغناطیسی در بخش جنوبی توده گرانیتیوی‌دی الوند.



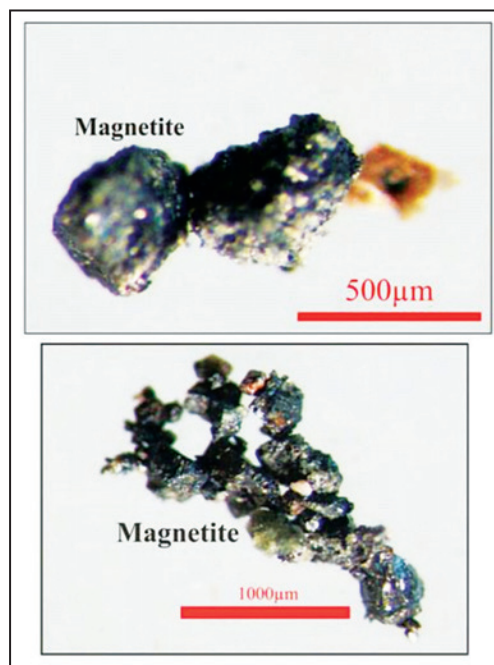
شکل ۱۱- نمودارهای ترمومگنتیک حاصل از آزمایش کانی شناسی مغناطیسی به کمک دستگاه CS3، منحنی سرخ مربوط به گرم‌شدگی و منحنی آبی مربوط به سردشدگی است.



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

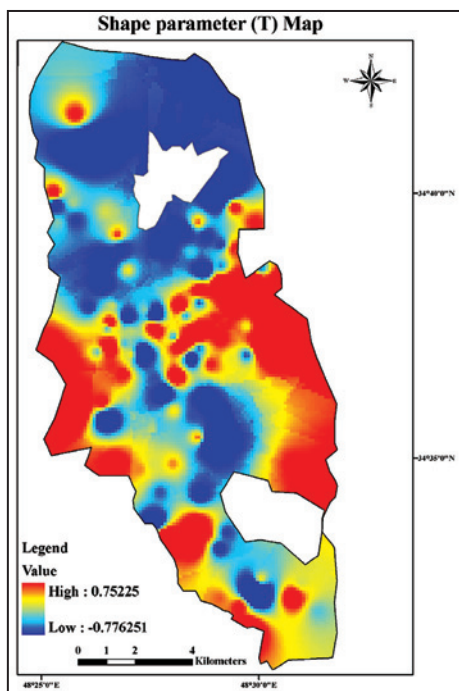


شکل ۱۳- نقشه په‌نه‌بندی مقادیر ناهمگنی مغناطیسی در بخش جنوبی توده گرانیتویدی الوند.

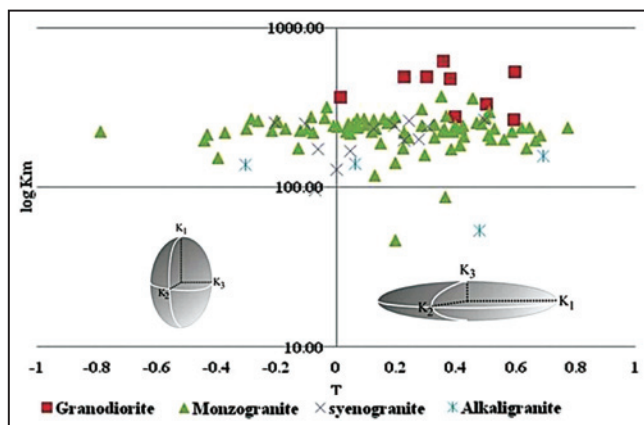


شکل ۱۲- تصاویری از حضور مگنتیت پس از شستشو و جدایش کانی‌ها به روش گرانیتی.

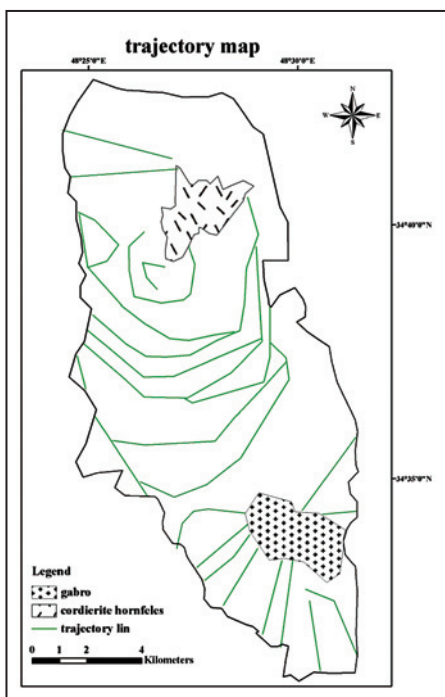




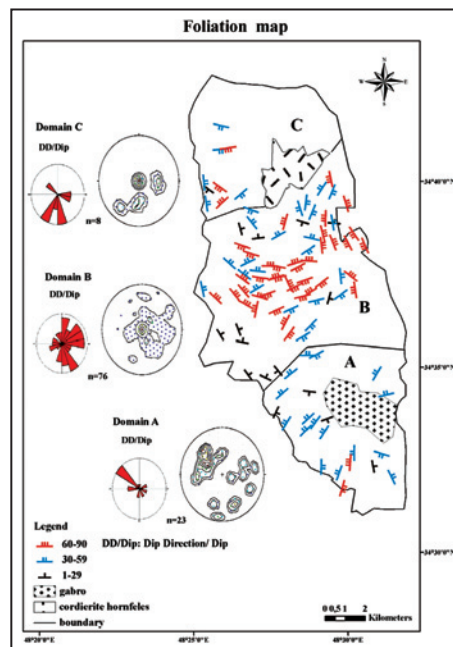
شکل ۱۵- نقشه پهنه‌بندی مقادیر متغیر شکل در بخش جنوبی توده گرانیتویدی الوند.



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



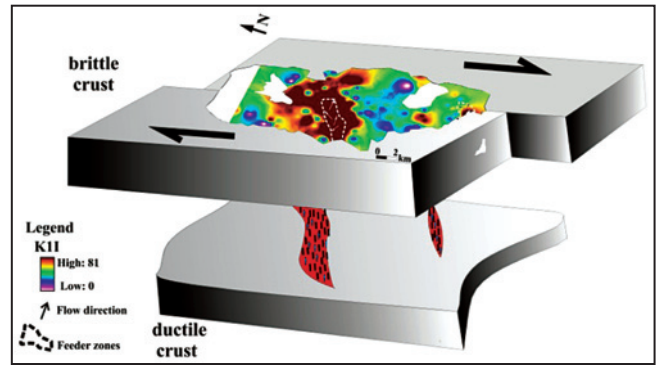
شکل ۱۷- نمایی از خطوط مسیر (Trajectory) حاصل از بر گوارگی‌های مغناطیسی منطقه.



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

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

نوع سنگ		میانگین Km ( $\mu$ SI)	
گرانیت	مونوزوگرانیت	۲۵۴	۲۰۵
	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 زمین‌ساختی ترافشارشی.

### 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 ولی‌زاده، م.، ۱۳۸۶- سازوکار جایگیری توده گرانیتوئیدی زاهدان در پرتو روش AMS، فصلنامه علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی، شماره ۶۶، ص ۱۵۹-۱۳۴.  
محجل، م.، ۱۳۸۴- تأثیر تکتونیک ترافشارشی (Transpression) در فضا سازی برای نفوذ توده‌های گرانیتوئیدی پهنه سندرچ- سیرجان (بخش شمال غربی)، نهمین انجمن زمین‌شناسی 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 zone 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