

# تحلیلی نو در چگونگی جایگیری توده گرانیتویدی الوند با استفاده از مطالعه روابط میان شیب خطوارگی، بر گوارگی مغناطیسی و بزرگای عددی آنها

## عاتکه اصلانی<sup>۱\*</sup> و سکینه شکاری<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup> کارشناسی ارشد، آزمایشگاه محیط و دیرین مغناطیس، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، ایران  
<sup>۲</sup> دانشجوی دکترا، دانشکده زمین شناسی، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۱۱/۱۱ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۶/۳۱

### چکیده

بخش جنوبی توده گرانیتویدی الوند با گسترده‌گی تقریبی ۱۲۰ کیلومتر مربع در جنوب و جنوب باختری همدان قرار گرفته است. گرانیتویدهای پورفیروید بیوتیت دار، حجم اصلی این توده را تشکیل می‌دهند. کانی پارامغناطیس بیوتیت، حامل خاصیت مغناطیسی چیره در این گرانیتوید است. متغیرهای خطوارگی مغناطیسی (L)، بر گوارگی مغناطیسی (F) و درجه ناهمسانگردی مغناطیسی (P) مغزه‌های جهت دار برگرفته از ۱۱۰۷ ایستگاه نمونه برداری، در آزمایشگاه محیط و دیرین مغناطیس سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور اندازه گیری شد. با تحلیل این داده‌ها، رابطه عکس میان شیب خطوارگی مغناطیسی با بزرگای خطوارگی و شیب بر گوارگی مغناطیسی با بزرگای بر گوارگی مغناطیسی و تطابق خوب میان بر گوارگی و خطوارگی مغناطیسی با درجه پذیرفتاری مغناطیسی (P) در توده گرانیتویدی الوند جنوبی دیده شد. عامل اصلی روابط یاد شده را می‌توان نتیجه عملکرد نیروهای مؤثر در بالا آمدگی و جایگیری ماگما در به خط کردن بیشتر کانی‌های مغناطیسی در موقعیت‌های مختلف درون ماگما دانست؛ زیرا هر چه کانی‌های بیشتری در یک سو قرار گیرند، بزرگای خطوارگی مغناطیسی و بر گوارگی مغناطیسی نیز بیشتر می‌شود. همچنین مطالعات ریزساختاری نشان می‌دهد که بیشتر سویافتگی‌های دیده شده در آنکلاوها و فلدسپارهای قلبایی منطقه، ناشی از جریان ماگماست. در مطالعه مغناطیسی حاضر، در هر ایستگاه که بزرگای خطوارگی مغناطیسی زیاد بود، شکل بیضوی مغناطیسی دوکی تر و در هر ایستگاه که بزرگای بر گوارگی مغناطیسی مقدار زیادتری داشت، شکل بیضوی مغناطیسی کلوچه‌ای تر است. این روابط میان متغیرهای مغناطیسی، در توده گرانیتویدی درّه‌باغ نیز دیده شد. این توده در شمال باختر الیگودرز در پهنه سنندج- سیرجان جای گرفته و جزو گرانیتویدهای پارامغناطیس است.

**کلیدواژه‌ها:** خطوارگی مغناطیسی، بر گوارگی مغناطیسی، توده گرانیتویدی الوند.

\* نویسنده مسئول: عاتکه اصلانی

E-mail: ati84s@yahoo.com

### ۱- پیش‌نوشتار

بخش جنوبی توده گرانیتویدی الوند با گسترش تقریبی ۱۲۰ کیلومتر مربع در میان طول‌های خاوری ۲۴' ۴۸° تا ۳۳' ۴۸° و عرض‌های شمالی ۳۰' ۳۴° تا ۴۲' ۳۴° در جنوب و جنوب باختری همدان قرار گرفته است. توده نفوذی الوند در بخش شمالی پهنه سنندج- سیرجان (Stöcklin, 1968) قرار گرفته است. منطقه مورد مطالعه از دید سنگ‌شناسی شامل گرانیتویدها (مونزو گرانیت‌ها، سینو گرانیت‌ها، آلکالی گرانیت‌ها و گرانودیوریت‌ها)، گابرو و سنگ‌های دگرگونی از جمله هورنفلس هاست (شکل ۱). کانی پارامغناطیس بیوتیت حامل خاصیت مغناطیسی چیره در این توده است. متغیرهای مغناطیسی مورد استفاده در این مطالعه، سو و بزرگای خطوارگی مغناطیسی (Lineation)، سو و بزرگای بر گوارگی مغناطیسی (Foliation)، درجه ناهمسانگردی مغناطیسی (P) و متغیر شکل (T) هستند که با استفاده از دستگاه کاپابریج مدل MFK1-F اندازه‌گیری شدند. متغیرهای مغناطیسی یاد شده، بیشتر برای مطالعه روی مدل جایگیری توده‌های گرانیتویدی با استفاده از روش ناهمسانگردی پذیرفتاری مغناطیسی (AMS) Anisotropy of magnetic susceptibility مورد استفاده قرار می‌گیرند. هدف از انجام این پژوهش به دست آوردن ارتباط میان متغیرهای مغناطیسی یاد شده در توده گرانیتویدی الوند، تحلیل بهینه چگونگی جایگیری توده گرانیتویدی الوند و در صورت امکان تعمیم این مدل برای توده‌های گرانیتویدی مشابه، مانند توده گرانیتویدی دره‌باغ در شمال باختر الیگودرز - که بیوتیت به عنوان کانی پارامغناطیس، حامل خاصیت مغناطیسی چیره توده است - است.

اهمیت این پژوهش از این دید مورد توجه قرار گرفته است که با ثابت شدن رابطه عکس این متغیرها می‌توان به توضیحات تفصیلی و بهبود تفسیرها، در جایگیری توده‌های نفوذی همانند الوند پرداخت و شاید بتوان گفت با بررسی روابط میان متغیر L و شیب خطوارگی مغناطیسی و متغیر F و شیب بر گوارگی مغناطیسی، دیدی برای

بررسی علل روابط موجود می‌یابیم. مثلاً در این مطالعه، رابطه عکس چیره بود که خود نشان از چگونگی عملکرد نیروهای مؤثر در جریان ماگماست. البته باید افزودن بر نیروها، کانی‌های مغناطیسی درون توده را نیز مد نظر قرار داد.

### ۲- زمین‌شناسی منطقه

پهنه سنندج- سیرجان باریکه‌ای از جنوب باختری ایران مرکزی است که بی‌فاصله در همسایگی شمال خاوری راندگی اصلی و کمربند چین- گسل زاگرس قرار دارد. این پهنه حاصل بسته شدن اقیانوس نوتیس در میان صفحات زمین‌ساختی ایران و عربستان است (Berberian & King, 1981; Mohajjel et al., 2003). از دید سنگ‌شناسی بیشتر حجم توده گرانیتویدی الوند را گرانیت پورفیروید تشکیل می‌دهد و گابروها حجم کوچکی را در بخش جنوبی توده نفوذی الوند جنوبی به خود اختصاص داده‌اند. گرانیتویدهای پورفیروید در مشاهدات صحرایی درشت‌بلور و در مناطقی متوسط‌بلور هستند. افزون بر این، درون گرانیتویدهای این منطقه آنکلاوهای میکروگرانولار مافیک دیده می‌شود که این آنکلاوها در برخی از محل‌ها، در سوی فلدسپارها کشیده شده و حالت بیضوی به خود گرفته‌اند. با توجه به مطالعات سنگ‌نگاری کانی پارامغناطیس بیوتیت در همه نمونه‌ها به صورت کانی اصلی وجود دارد ولی کانی‌های مسکوویت، تورمالین و کانی‌های کدر (ایلمنیت، همتایت، اکسیدهای آهن) به صورت کانی‌های مغناطیسی فرعی حضور دارند (اصلانی و همکاران، ۱۳۹۳).

سپاهی گرو (۱۳۸۷) بر این باور است که در این منطقه، ماگماهای گابرودیوریتی گوشته‌ای از یک سو و ماگماهای آناتکتیک پوسته‌ای از سوی دیگر به صورت پی‌درپی و گاه همزمان با هم تزریق شده و طیف گسترده‌ای از سنگ‌های با خاصیت

مغناطیسی (magnetic foliation) شناخته می‌شوند و مقدار  $K_{int}$  به عنوان میانگین عددی  $K_{min}$  و  $K_{max}$  نیست، بلکه مقدار آن در محدوده میان آنها تغییر می‌کند که تجسم بیضوی مغناطیسی را امکان‌پذیر می‌سازد (Lanza & Meloni, 2006).

متغیر شکل (T) برای توصیف شکل بیضوی مغناطیسی استفاده می‌شود که بر پایه بردارهای پذیرفتاری مغناطیسی است و برای محاسبه این متغیر از رابطه زیر استفاده می‌شود (Jelink, 1981; Hrouda, 1982):

$$T = \left[ \frac{2 \ln(K_2/K_3)}{\ln(K_1/K_3)} \right] - 1$$

مقدار متغیر T میان ۱ و -۱ تغییر می‌کند؛ هنگامی بیضوی مغناطیسی، دوکی شکل (Prolate) است، که  $K_1 = K_3 > K_2$  و در این صورت  $0 < T \leq 1$  باشد و هنگامی بیضوی مغناطیسی بشقابی شکل (Oblate) است که  $K_1 = K_2 > K_3$  و در این صورت  $-1 < T \leq 0$  باشد (Lanza & Meloni, 2006) و در حالتی که  $K_1 = K_2 = K_3$  باشد شکل بیضوی به صورت کره در می‌آید (Jelink, 1981; Hrouda, 1982).

درجه ناهمسانگردی ( $P = K_1/K_3$ )، معیاری است که شدت ناهمسانگردی را نشان می‌دهد؛ هنگامی که  $K_1 = K_2 = K_3$  باشد، مقدار P برابر ۱ است و فضای مغناطیسی سه‌بعدی به شکل کره در می‌آید؛ ولی هرچه میزان اختلاف پذیرفتاری مغناطیسی در سوهای مختلف بیشتر باشد، میان محورها تفاوت بیشتری ایجاد و درجات ناهمسانگردی نیز بیشتر می‌شود.

خطوارگی و برگوارگی مغناطیسی (L و F) شکل بیضوی را توصیف می‌کنند؛ یعنی هنگامی که بیضوی دوکی شکل است L و هنگامی که بیضوی بشقابی یا کلوچه‌ای شکل است F چیره می‌شود (Lanza & Meloni, 2006). به عبارت دیگر Lineation معرف درجه خطی بودن ناهمسانگردی است و میزان خطوارگی مغناطیسی را نشان می‌دهد (Balsley & Buddington, 1960).

$$L = K_1/K_2$$

Foliation درجه صفحه‌ای بودن ناهمسانگردی است و فولیاسیون یا برگوارگی مغناطیسی را توصیف می‌کند (Stacey et al., 1960).

$$F = K_2/K_3$$

خطوارگی مربوط به سوی  $K_1$  است و برگوارگی به صفحه مشخص شده به وسیله متغیرهای  $K_1$  و  $K_3$  که عمود بر  $K_3$  است، وابسته است (Lanza & Meloni, 2006).

## ۵- مطالعات ریزساختاری

در مطالعه حاضر، برای مشخص شدن منشأ ماگمایی جهت یافتگی کانی‌ها، از مطالعات ریزساختاری اصلانی و همکاران (۱۳۹۳) استفاده شده است که طی آن مشخص شد فابریک ماگمایی و نیمه‌ماگمایی چیره است و در برخی مناطق فابریک حالت جامد دمای بالا نیز وجود دارد (شکل ۲- الف). در توده دره‌باغ، فابریک ماگمایی در حاشیه شمال باختر توده، فابریک حالت جامد دمای بالا در حاشیه خاوری و فابریک حالت جامد دمای متوسط در بخش مرکزی توده از بخش شمال به جنوب توده گزارش شده است (صادقیان و شکاری، ۱۳۹۲) (شکل ۲- ب).

## ۶- ارتباط متغیرهای مغناطیسی با یکدیگر

۶-۱. رابطه شیب خطوارگی مغناطیسی با بزرگای خطوارگی مغناطیسی (L) با رسم نقشه‌های شیب خطوارگی مغناطیسی و بزرگای خطوارگی مغناطیسی (L) در توده گرانیتویدی الوند و دره‌باغ، دیده می‌شود که در بخش مرکزی توده گرانیتویدی الوند که محل تزریق ماگماست (اصلانی و همکاران، ۱۳۹۳)، شیب خطوارگی زیاد است در حالی که در همین منطقه بزرگای خطوارگی مغناطیسی کم است و همین رابطه در مناطق دیگر توده هم دیده می‌شود. در توده گرانیتویدی دره‌باغ نیز در بیشتر مناطقی که شیب خطوارگی مغناطیسی زیاد است و محل تزریق

پوسته‌ای (آناکتیک)، گشته‌ای و دو رگه ایجاد کرده‌اند. بر پایه آخرین تعیین سن‌های رادیومتری، سن ۱۶۲ تا ۱۶۵ میلیون سال برای گرانیتویدها به دست آمده است (Shahbazi et al., 2010; Mahmoudi et al., 2011).

توده گرانیتویدی دره‌باغ که در این مطالعه از آن به عنوان شاهد استفاده شده است، در شمال باختر الیگودرز و در پهنه سندج-سیرجان قرار دارد که با سن سنجی اورانیوم-سرب روی کانی زیرکن، سن آن ژوراسیک میانی (۱۷۸ میلیون سال پیش) گزارش شده است (اثنی‌عشری، ۱۳۹۰). این توده در میان سنگ‌های دگرگونی ناحیه‌ای درجه پایین با طیف سنگ‌شناسی اسلیت، فیلیت و شیست معادل دگرگونی سنگ‌های شیلی-ماسه‌سنگی شمشک به سن اواخر تریاس تا اوایل ژوراسیک تزریق شده است. ترکیب سنگ‌شناسی چیره توده گرانیتویدی دره‌باغ، گرانودیوریتی است. گرانودیوریت‌ها توسط دایک‌های لوکوگرانیتی و رگه‌ها و رگچه‌های آپلیتی و پگماتیتی قطع شده‌اند. جایگیری توده گرانیتویدی در سنگ‌های دگرگونی ناحیه‌ای میزبان و گرمای ناشی از وجود آنها، دگرگونی مجاورتی کم‌ستبری در حد کردیریت-هورنفلس ایجاد کرده است (صادقیان و شکاری، ۱۳۹۲). با توجه به حضور گسترده زینوکریست‌های آندالوزیت، آنکلاوهای متاپلیتی، آنکلاوهای ماسه‌سنگ دگرگون شده، زینولیت‌های کوارتزی، حضور گسترده بیوتیت، حضور تورمالین (Balen & Broska, 2011) و بقایای گارنت، این توده در گروه گرانیتویدهای نوع S (پالین‌ژنتیک) قرار می‌گیرد (صادقیان و شکاری، ۱۳۹۰). همچنین بر پایه بررسی‌های سنگ‌شناسی و ژئوشیمیایی صورت گرفته (باغبانی، ۱۳۹۱) این توده از جمله گرانیتویدهای کالک‌آلکان و پرآلمین نوع S و مرتبط با فرورانش اقیانوس نوتتیس به زیر ایران مرکزی است. این توده جزو گرانیتویدهای پارامغناطیس است که کانی پارامغناطیس بیوتیت، حامل خاصیت مغناطیسی چیره در این توده است (شکاری و همکاران، ۱۳۹۰).

## ۳- روش انجام کار

کارهای آزمایشگاهی برای انجام مطالعات ناهمسانگردی پذیرفتاری مغناطیسی با استفاده از دستگاه مغناطیسی مدل MFK1-A در آزمایشگاه محیط و دیرین مغناطیس سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور (اصلانی و همکاران، ۱۳۹۳) و با استفاده از دستگاه مغناطیسی مدل MFK1-FA در آزمایشگاه مغناطیس دانشگاه صنعتی شاهرود (شکاری و همکاران، ۱۳۹۰) انجام شده است.

## ۴- بحث

### ۴-۱. متغیرهای مغناطیسی

هنگامی که یک نمونه در دستگاه حساسیت سنج قرار می‌گیرد، این دستگاه با حرکت دادن سیم پیچ یک میدان H (با واحد آمپر بر متر A/M) بر نمونه القا و نمونه نیز میدان مغناطیسی برابر با M (با واحد آمپر بر متر A/M) پیدا می‌کند.

$$M = KH$$

K که ضریب حساسیت مغناطیسی نامیده می‌شود، بدون بعد است و به نوع ماده بستگی دارد. K رابطه‌ای خطی است و شیب نمودار M بر حسب H را نشان می‌دهد. با استفاده از آن می‌توان قدرت مغناطیسی القایی (M) را با میدان مغناطیسی وارد شده (H) که نسبت ثابتی است، تطابق داد (Tarling & Hrouda, 1993). اگر بردارهای مغناطیسی در یک فضای بیضوی تجسم شود، می‌توان ۳ بردار  $K_{min}$  و  $K_{int}$  و  $K_{max}$  را تعریف کرد که  $K_{max}$  بزرگ‌ترین محور بیضوی،  $K_{int}$  محور متوسط بیضوی و  $K_{min}$  محور کوچک بیضوی را نشان می‌دهد (Tarling & Hrouda, 1993). مقادیر این ۳ متغیر می‌تواند در حالت‌های مختلف برای محاسبه متغیرهایی که شکل بیضوی را توصیف می‌کنند (P, T, F, L, PJ) به کار روند (Lanza & Meloni, 2006).  $K_1$  به عنوان خطوارگی مغناطیسی (magnetic lineation) و  $K_3$  به عنوان قطب برگوارگی

قرار گرفته‌اند تا نیروهای حاصل از وزن سنگ‌های بالای توده، نتوانند به عنوان یک نیروی مخرب، رفتار کنند. با توجه به عملکرد نیروهایی که برای خطوارگی مغناطیسی توضیح داده شد، می‌توان رابطه شیب بر گوارگی مغناطیسی و بزرگای بر گوارگی را نیز توجیه کرد. البته نکته قابل توجه در این رابطه این است که در ایستگاه‌های معدودی از توده، روابط دیگری نیز میان متغیرهای توضیح داده شده در بالا، دیده می‌شود که این موضوع می‌تواند شروعی برای بررسی بیشتر در مورد این ایستگاه‌های نمونه‌برداری باشد. البته دلیل اصلی این موارد مربوط به نیروهای عمل کننده در آن نقطه است که باید به دنبال نیروهای فعال در آن منطقه بود. مثلاً ممکن است در آن منطقه وجود یک فضای خالی در زیر مسیر جریان، سبب تغییر سوی جریان به سوی پایین و همین امر سبب تغییر عملکرد نیروهای وارد بر ماگما و کانی‌های مغناطیسی شود که در این حالت به دلیل سوی جریان رو به پایین، کانی‌های بیشتری همسو با یکدیگر قرار می‌گیرند و رابطه شیب بر گوارگی و بزرگای بر گوارگی یک رابطه مستقیم می‌شود. افزون بر این، دلایل زیادی می‌تواند بر عملکرد نیروها تأثیر بگذارد که نیازمند بررسی‌های بیشتر است.

### ۳-۶. رابطه بزرگای خطوارگی مغناطیسی با درجه ناهمسانگردی مغناطیسی

مقایسه نقشه پهنه‌بندی شدت خطوارگی مغناطیسی با مقدار درجه ناهمسانگردی مغناطیسی در توده الوند نشان داد که این دو متغیر با هم رابطه مستقیم دارند (شکل ۷). البته با توجه به قرارگیری متغیر  $K_1$  در صورت فرمول‌های این متغیرها، این رابطه مورد انتظار است. با تصور اینکه در منطقه‌ای شدت خطوارگی افزایش یابد، می‌توان انتظار داشت که با توجه به فرمول، مقدار  $K_1$  بر مقدار  $K_3$  چیره شود و در نتیجه مقدار ناهمسانگردی نیز افزایش یابد، به این دلیل که ناهمسانگردی به صورت اختلافی میان یک متغیر در سواهای مختلف در یک ماده ایجاد می‌شود. به خاطر اعمال نیروهایی که در شکل ۶ دیده شد، در اینجا بیشترین اختلاف در مقدار  $K_1$  با  $K_3$  که عمود بر  $K_1$  است وقتی ایجاد می‌شود که نیروهای عمل کننده با همکاری یکدیگر همگی به صورت سازنده بر کانی‌های مغناطیسی وارد شوند و بهترین حالت خطوارگی و بیشترین حالت ناهمسانگردی را ایجاد کنند.

### ۴-۶. رابطه بزرگای بر گوارگی مغناطیسی با $P_j$

با توجه به شکل ۸ بزرگای بر گوارگی مغناطیسی تطابق خوبی با درجه ناهمسانگردی مغناطیسی دارد. زیرا وقتی شدت بر گوارگی در یک بخش بالا می‌رود، در واقع اختلاف میان صفحه  $K_1$  و  $K_2$  با بردار  $K_3$  بیشتر و در نتیجه یک ناهمسانگردی ایجاد می‌شود که هرچه این اختلاف بیشتر باشد درجه ناهمسانگردی نیز شدیدتر خواهد بود.

### ۵-۶. رابطه متغیرهای $L$ و $F$ و $T$

خطوارگی و بر گوارگی مغناطیسی ( $L$  و  $F$ ) شکل بیضوی مغناطیسی را توصیف می‌کنند. یعنی هنگامی که بیضوی دوکی شکل است،  $L$  و هنگامی که بیضوی بشقابی یا کلوچه‌ای شکل است،  $F$  چیره می‌شود (Lanza & Meloni, 2006). به عبارت دیگر Lineation نمایانگر درجه خطی بودن ناهمسانگردی است و میزان خطوارگی مغناطیسی را نشان می‌دهد (Balsley & Buddington, 1960). بر گوارگی درجه صفحه‌ای بودن ناهمسانگردی است و در واقع فولیاسیون یا بر گوارگی مغناطیسی را توصیف می‌کند (Stacey et al., 1960).

همان‌گونه که در شکل ۹ نشان داده شد، در جایی که بزرگای خطوارگی زیاد است شکل بیضوی دوکی‌تر و در جاهایی که بزرگای بر گوارگی زیاد است شکل بیضوی کلوچه‌ای‌تر است. همان‌گونه که در شکل ۹ به وسیله اعداد مشخص شده است، محدوده‌های با اعداد شبیه به هم با هم مقایسه شده‌اند و همان‌گونه که دیده می‌شود، نقاطی با بیشترین مقدار  $L$  در نقشه مربوط، دارای بیضوی دوکی شکل در نقشه  $T$  هستند و همچنین نقاطی با بیشترین مقدار  $F$  در نقشه، دارای بیضوی بشقابی یا کلوچه‌ای شکل در نقشه  $T$  هستند. در این مقایسه از مقدارهای بیشینه در مورد  $L$  و

ماگما هستند (صادقیان و شکاری، ۱۳۹۲) بزرگای خطوارگی مغناطیسی کم است و بالعکس. با این دو متغیر در این دو توده می‌توان گفت که به‌طور کلی میان شیب خطوارگی مغناطیسی و بزرگای خطوارگی مغناطیسی در این دو توده، رابطه تقریباً عکس وجود دارد (شکل ۳). البته این رابطه عکس در مکان‌هایی در این دو توده دیده نمی‌شود (شکل ۴) که این امر می‌تواند در اثر عملکرد نیروهای متفاوتی باشد که بر ماگما در آن منطقه اثر گذاشته است. البته این موضوع نیاز به بررسی علمی دقیق‌تر دارد.

### ۲-۶. رابطه شیب بر گوارگی مغناطیسی با بزرگای بر گوارگی مغناطیسی (F)

با توجه به نقشه‌های بزرگای بر گوارگی و شیب بر گوارگی مغناطیسی می‌توان دید که این فاکتورها نیز بیشتر رابطه عکس با یکدیگر نشان می‌دهند (شکل ۵). این ارتباط در مناطق مشخص شده در شکل ۵ کاملاً آشکار است، زیرا در نقاطی که شیب بر گوارگی زیاد است، در همین نقاط مقدار متغیر  $F$  کم است. این روابط میان متغیرها را می‌توان چنین توضیح داد که در مناطقی که شیب خطوارگی زیاد و مقدار  $L$  کم است، نیروهای وارد بر ماگما همگی در جهت به خط کردن بیشتر کانی‌های مغناطیسی رفتار نمی‌کنند تا بتوانند شدت بیشتری از خطوارگی ایجاد کنند. زیرا اگر کانی‌های بیشتری در یک سو قرار گیرند بزرگای مغناطیسی نیز شدیدتر می‌شود و بالعکس.

برای درک بهتر این روابط از سازوکار جایگیری توده استفاده می‌شود. تغییر جهت جریان ماگما از روند رو به بالا، به حالت افقی به عنوان جایگیری توده تعریف می‌شود و این جایگیری به‌وسیله مجموعه‌ای از فعل و انفعالات مکانیکی و اثرات چگالی میان جریان ماگمای در حال گسترش و اطراف آن، کنترل می‌شود (Petford et al., 2000) که در شکل ۶ نشان داده شده است. در مناطقی که شیب خطوارگی زیاد است، نیروی بویسی (برآیند نیروی وارد شده از سوی یک سیال ساکن بر جسمی که در آن فرو رفته یا شناور است، که همواره به‌طور قائم و رو به بالا اثر می‌کند) که خود ناشی از اختلاف چگالی میان ماگما و سنگ‌های میزبان است به عنوان نیروی بالابرنده رفتار می‌کنند (Scalliet et al., 1994; Hogan & Gilbert, 1995; Cruden, 1998; Harris et al., 2000) که می‌تواند روی به خط شدن کانی‌های مغناطیسی نیز اثر مثبت داشته باشد. ولی نیروی دیگری که روی ماگما اعمال می‌شود نیرویی است که در اثر وزن لایه‌های بالایی بر ماگما اثر می‌گذارد؛ اثر این نیرو در مکان‌هایی که شیب خطوارگی زیاد است - یعنی در بخش انتهایی کانال تزریق، که ماگما می‌خواهد وارد فضای جایگیری شود - به صورت نیروی مخالف با نیروی حاصل از اختلاف چگالی رفتار می‌کند و اثر مخربی در جهت به خط‌شدگی کانی‌های مغناطیسی دارد و کانی‌های مغناطیسی در این منطقه حالت آشفته‌تری دارند. همین عامل، یعنی عملکرد نیروهای مختلف با جهت‌های مختلف سبب می‌شود بزرگای خطوارگی در این بخش نسبت به بخش‌های دیگر، کمتر شود ولی با فاصله گرفتن از محل تزریق، خطوارگی‌ها دارای شیب کمتر ولی بزرگای بیشتر می‌شوند. این مطلب هم می‌تواند چنین توضیح داده شود که با دور شدن از محل تزریق و با گسترش ماگما و دور شدن آن از محل تزریق نیروهای یاد شده به‌طور سازنده با هم در به خط کردن کانی‌های مغناطیسی رفتار می‌کنند و سبب افزایش بزرگای خطوارگی و بر گوارگی مغناطیسی می‌شوند (شکل ۶).

در نقشه خطوارگی مغناطیسی (شکل ۴)، ۳ نقطه نشان داده شده در کادر کوچک درون کادر بزرگ، دارای بزرگای  $L$  زیاد هستند. یعنی برحسب فرمول  $K_1/K_2$  مقدار  $K_1$  بیشتر از مقدار  $K_2$  است و افزون بر این، مقدار  $K_1$  نسبت به نقاط پیرامون نیز بیشتر است. این مطلب نشان می‌دهد که این مناطق در هنگام جایگیری توده در منطقه‌ای بوده‌اند که نیروهای مؤثر در ایجاد خطوارگی، بیشتر از نیروهای مقاوم در مسیر ایجاد خطوارگی بوده است. از آنجایی که این نقاط درست در منطقه‌ای قرار دارند که محل تزریق ماگماست، در نتیجه این ۳ منطقه احتمالاً درون دالان بالاآمدگی ماگما

یعنی با مقایسه این متغیرها می توان مناطقی را که در آنجا برخورد نیروها بیشتر است (برای نمونه در منطقه ای که شیب خطوارگی کم است و انتظار می رود بزرگا زیاد باشد، اگر مقدار بزرگای خطوارگی پایین بود یعنی نیروهایی در اینجا سبب آشفستگی در جهت کانی ها شده است) را شناسایی و عوامل ایجاد این نیروها را جستجو کرد؛ البته باید ترکیب کانی شناسی را نیز مد نظر قرار داد. این نیروها می توانند عوامل زمین ساختی و همچنین عوامل فیزیکی دیگر (میزان اختلاف چگالی، گرانیوی ماگما) باشند. البته با توجه به اینکه در این منطقه بیشتر فابریک ها، فابریک ماگمایی هستند می توان جهت یافتگی ها را نشان دهنده جریان ماگما دانست. در مناطق محدودی، این رابطه عکس حفظ نشده است؛ اگر در این مناطق هم شیب خطوارگی و هم بزرگا زیاد باشد، می تواند یک جهت جریان رو به پایین را در توده نشان دهد. علت این امر ممکن است وجود یک فضای خالی در آن محدوده باشد که این فضا یک محیط کم فشار نسبت به پیرامون ایجاد کرده و سبب ایجاد جهت جریان و در نتیجه سوی جهت یافتگی مغناطیسی به سوی پایین و با شیب زیاد شده است که این امر نیاز به بررسی های بسیار زیاد دارد؛ در این حالت اختلاف فشار و نیروی گرانش با هم در یک جهت بر ماگما وارد می شوند و میزان بزرگای خطوارگی بیشتر خواهد بود.

### سپاسگزاری

نویسندگان از جناب آقای مهندس کره ای ریاست محترم سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور برای در اختیار گذاشتن امکانات این پژوهش، از آقایان دکتر حبیب علمحمدیان و دکتر محمود صادقیان برای ارائه پیشنهادات سازنده برای بهتر شدن مقاله و فراهم کردن امکان استفاده از امکانات آزمایشگاه محیط و دیرین مغناطیس سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، از دانشگاه صنعتی شاهرود برای فراهم کردن امکان استفاده از آزمایشگاه مغناطیس، از آقای دکتر جلیل قلمقاش برای راهنمایی های ارزنده شان در روند تحقیقی باتولیت الوند و از آقای مهندس مسعود میرزایی برای پیشنهادات ارزنده شان سپاسگزاری می کنند.

F استفاده شد تا به راحتی بتوان آنها را با هم مقایسه کرد. برای نمونه نقاطی از نقشه L که رنگ سرخ پررنگ دارند نشان دهنده بیشینه مقدار L هستند که همین نقاط در نقشه T دارای رنگ آبی پررنگ هستند که نشان دهنده مقدارهای منفی T و دارای بیضوی دوکی شکل هستند.

### ۷- نتیجه گیری

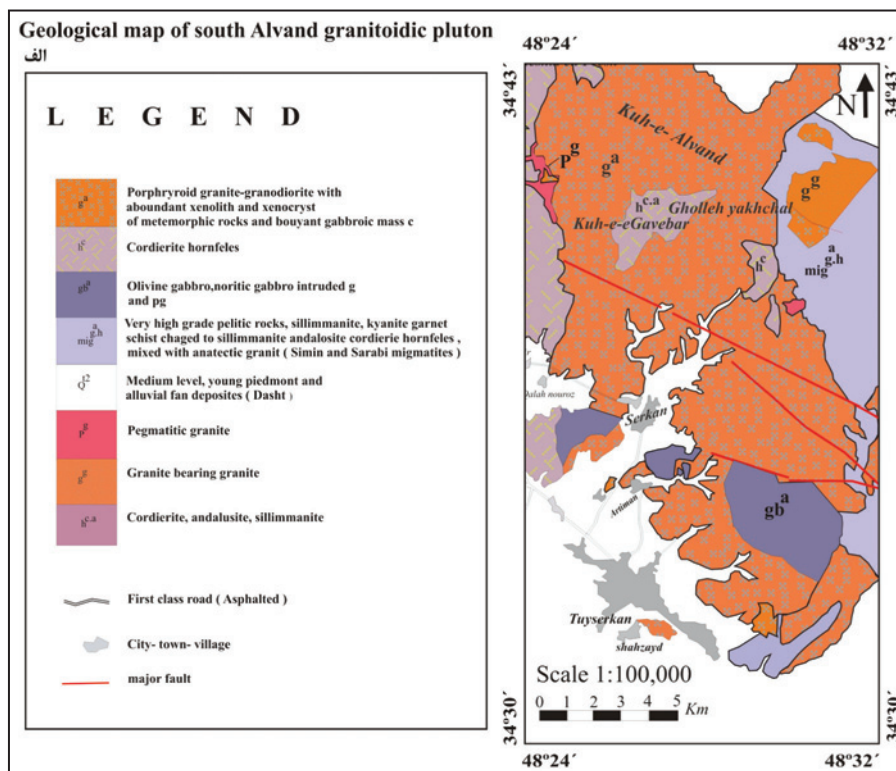
رابطه عکس میان بزرگای خطوارگی مغناطیسی و بزرگای برگوارگی مغناطیسی با شیب خطوارگی مغناطیسی و شیب برگوارگی مغناطیسی در توده های الوند جنوبی و دره باغ دیده شد.

دلیل روابط عکس میان بزرگای خطوارگی مغناطیسی با شیب خطوارگی مغناطیسی و همچنین بزرگای برگوارگی مغناطیسی با شیب برگوارگی مغناطیسی در مدل ارائه شده در شکل ۶، مربوط به عملکرد نیروهای مؤثر در بالا آمدگی و جایگیری ماگما، در به خط کردن کانی های مغناطیسی بیشتر در موقعیت های مختلف درون ماگماست. زیرا هر چه کانی های بیشتری در یک سو قرار گیرند، بزرگی خطوارگی مغناطیسی و برگوارگی مغناطیسی نیز بیشتر می شود.

بزرگای خطوارگی مغناطیسی با مقدار درجه ناهمسانگردی مغناطیسی تا حدود زیادی رابطه مستقیم دارد که با توجه به فرمول این دو متغیر، این رابطه مورد انتظار بود. همچنین برگوارگی مغناطیسی تطابق خوبی با درجه ناهمسانگردی مغناطیسی دارد.

در جایی که بزرگای خطوارگی زیاد است شکل بیضوی دوکی تر و در جاهایی که بزرگای برگوارگی زیاد است شکل بیضوی کلوچه ای تر است.

بیشتر مناطقی که مقدار شیب خطوارگی مغناطیسی آنها کم است، بزرگای خطوارگی بیشتر دارند که این امر بازتابی از جهت یافتگی یکسان بیشتر کانی های مغناطیسی در اثر نیروهای سازنده در جهت به خط شدن کانی های مغناطیسی است. با در نظر گرفتن شرایط زمین ساختی و دیگر عوامل مؤثر در هم جهت کردن کانی های مغناطیسی، می توان تفسیر کامل تری از شرایط و چگونگی جایگیری توده ارائه داد.

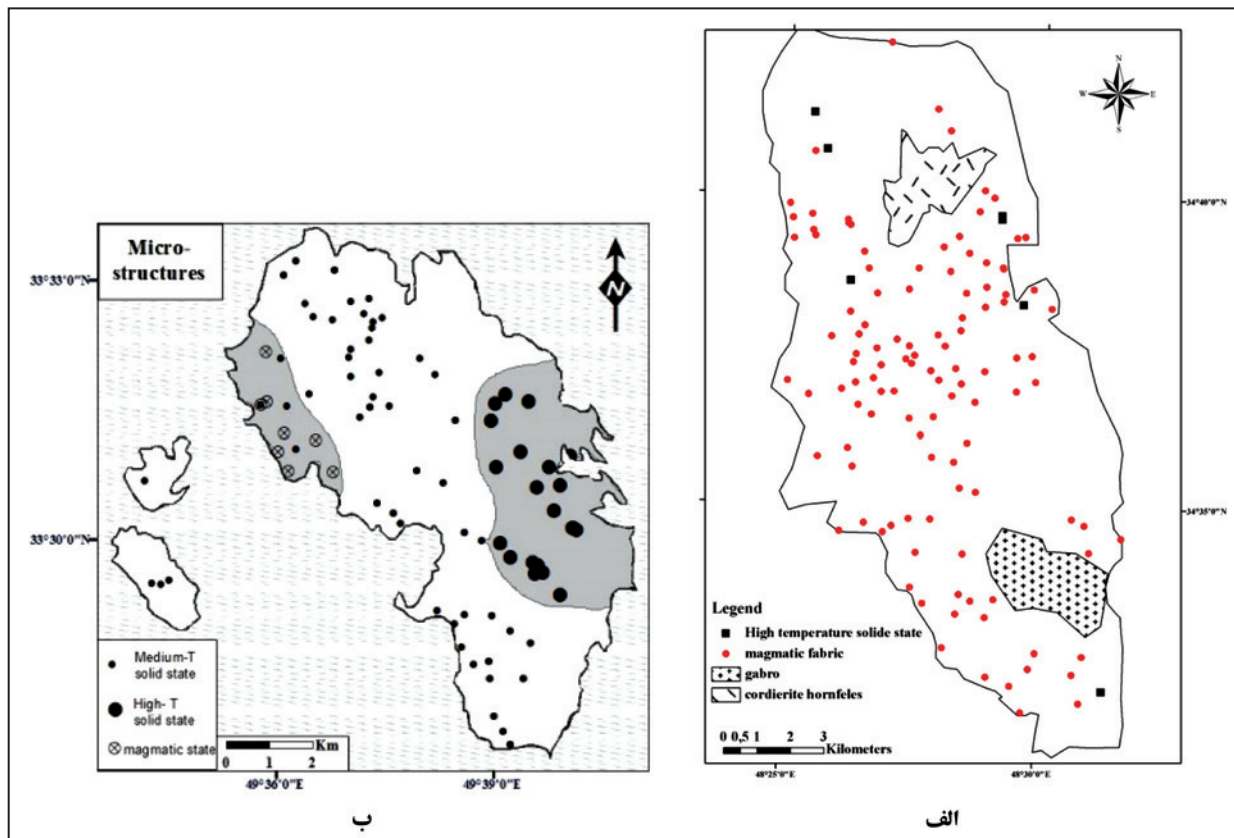


شکل ۱- الف) نقشه زمین شناسی توده نفوذی الوند.

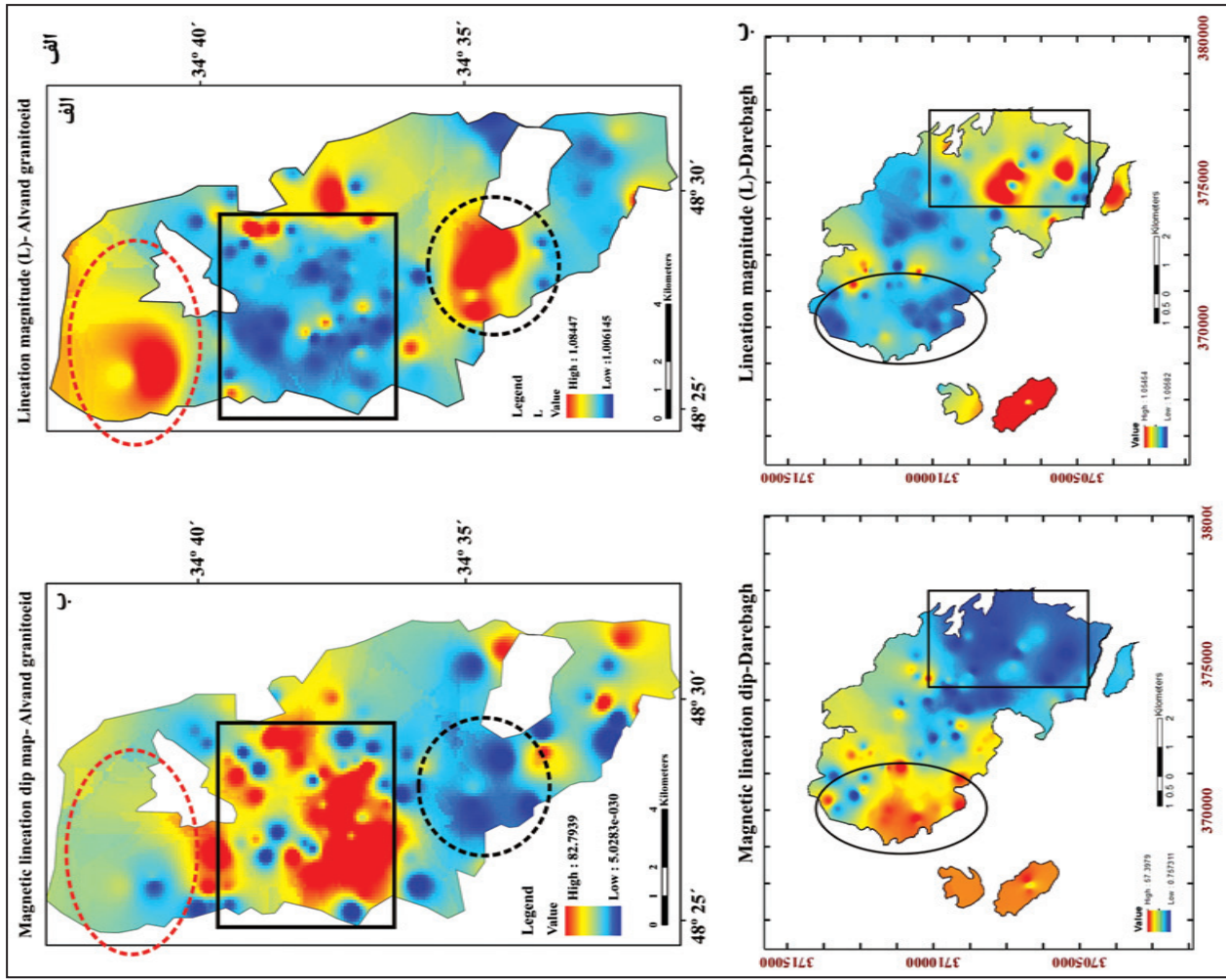




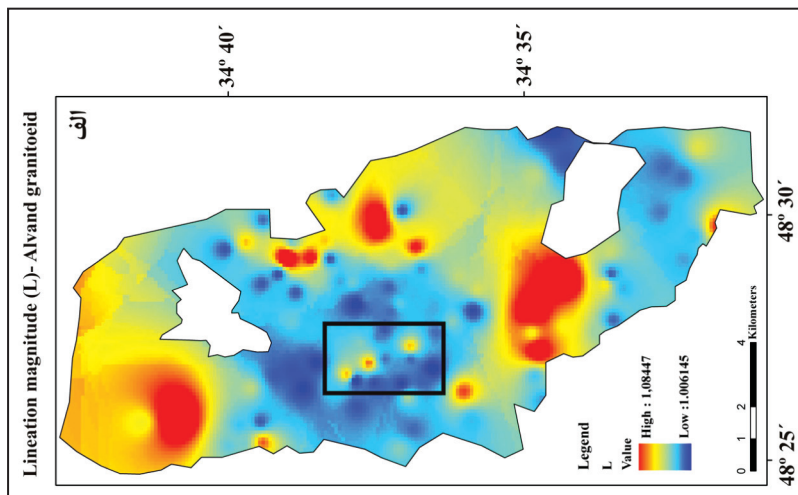
شکل ۱- ب) راه‌های دسترسی به منطقه.



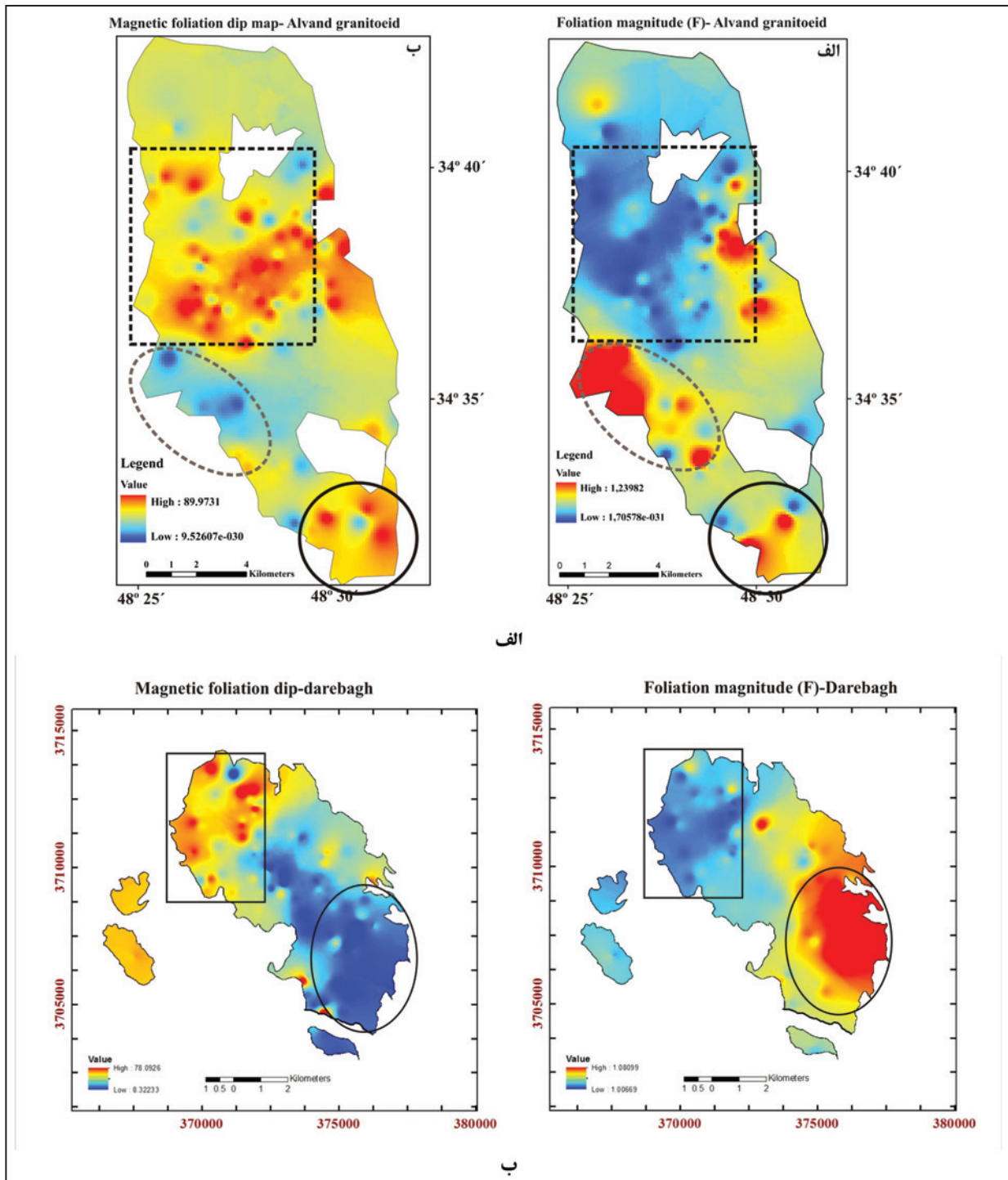
شکل ۲- پراکنده‌گی ریزساختارهای دیده شده در توده‌های: الف) الوند (اصلانی و همکاران، ۱۳۹۳)؛ ب) دره‌باغ (شکاری و همکاران، ۱۳۹۰).



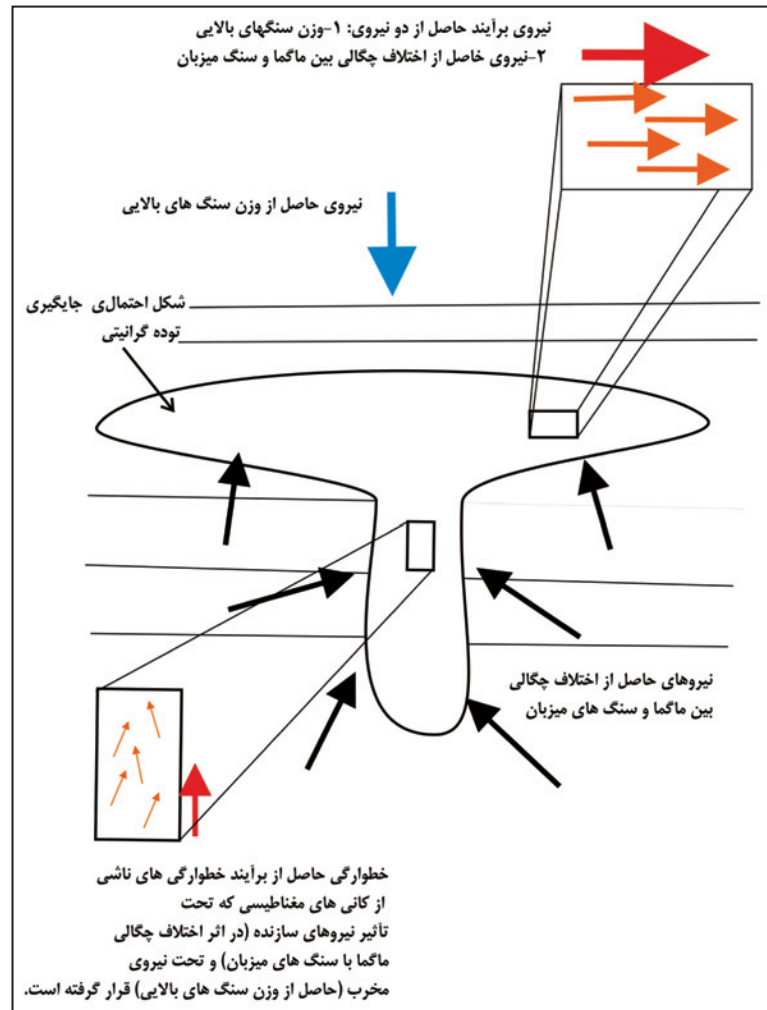
شکل ۳- ارتباط میان شیب خطاری مغناطیسی و بزرگای خطاری مغناطیسی در توده های الف (الوند؛ ب) دره باغ.



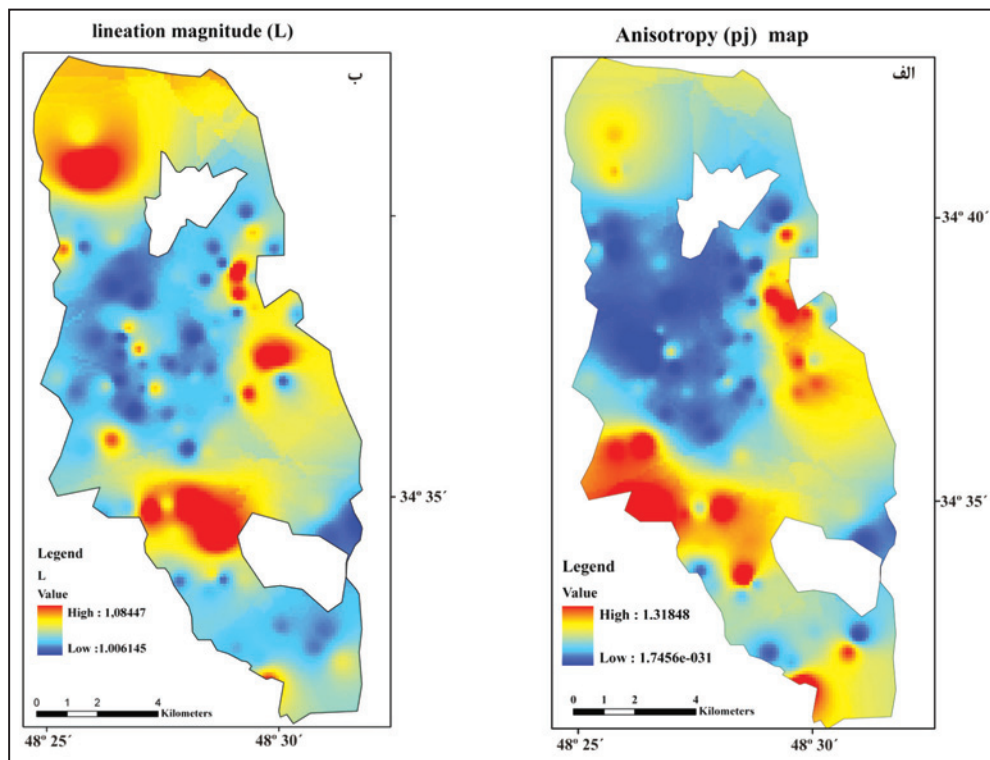
شکل ۴- نقشه بزرگای خطاری مغناطیسی با کادر مشخص کننده نقاطی که دارای مقدار L بالا هستند.



شکل ۵- رابطه شیب برگوارگی مغناطیسی با بزرگای برگوارگی مغناطیسی در توده‌های الف (الوند؛ ب) دره‌باغ.

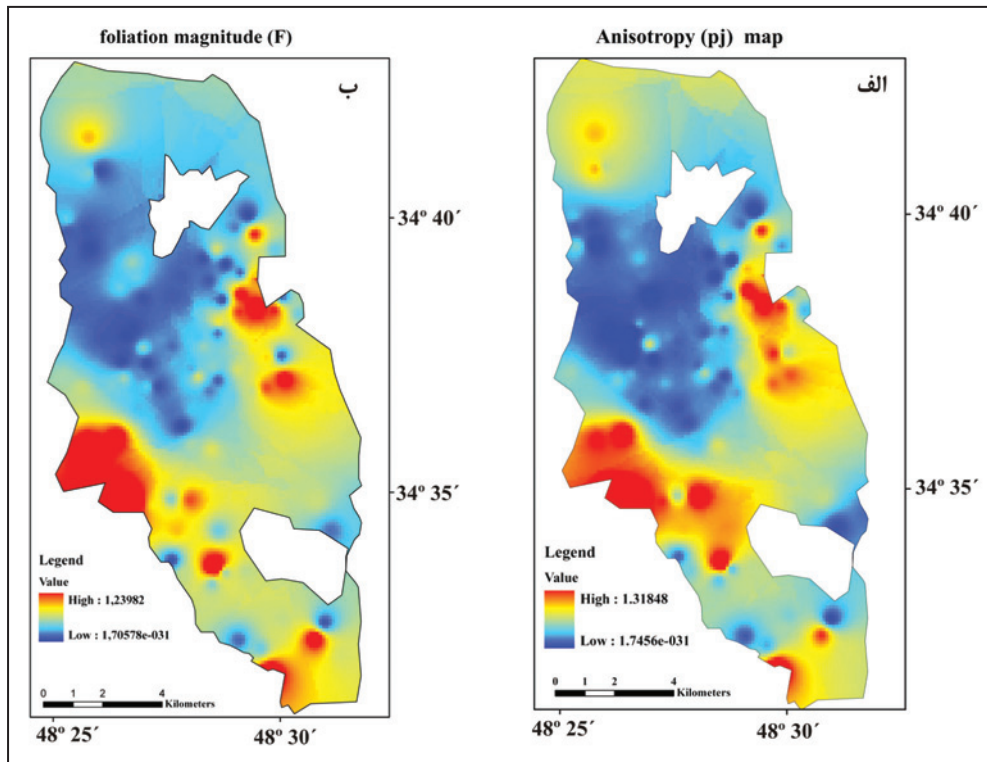


شکل ۶- طرح نمادین از نیروهای مؤثر در ایجاد خطواری مغناطیسی و تأثیر نیروها در بزرگای خطواری مغناطیسی. بردارهای بیرون از کادرهای کوچک نشان‌دهنده نیروها، بردارهای درون کادرها نشان‌دهنده سوی خطواری‌های حاصل از کانی‌های مغناطیسی و ستبرای بردارها نشان‌دهنده بزرگای خطواری مغناطیسی است.

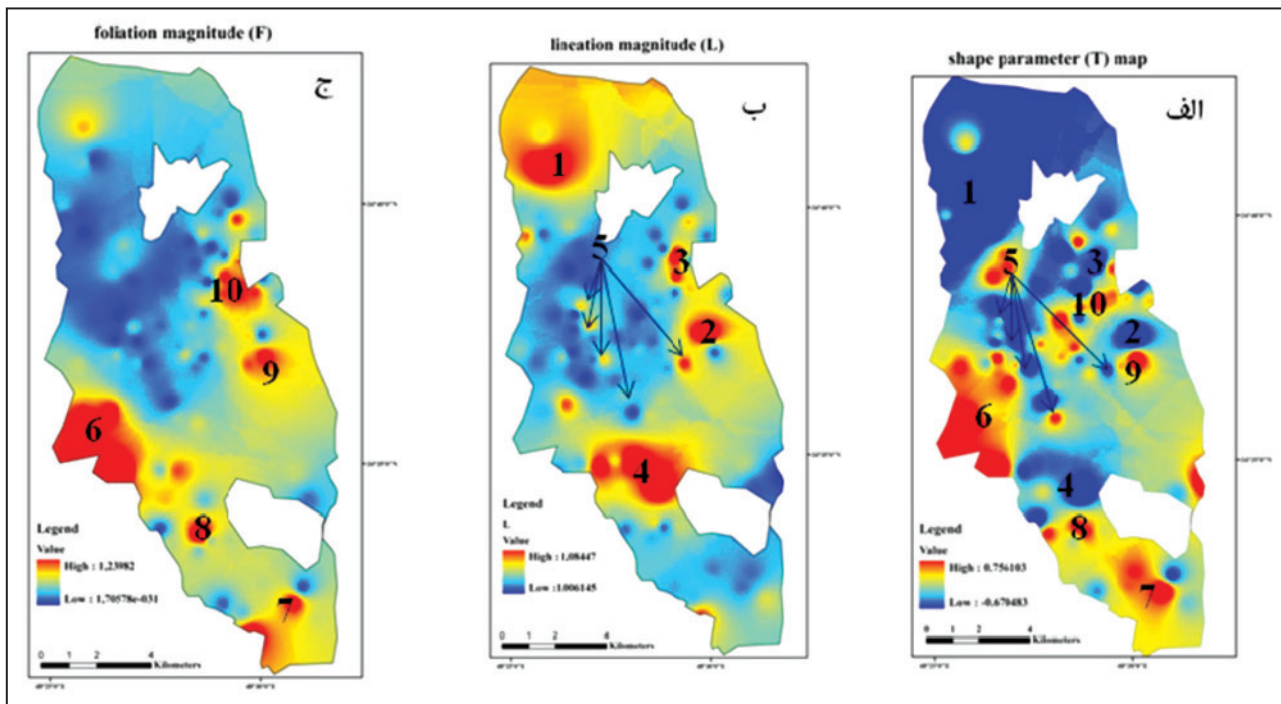


شکل ۷- مقایسه نقشه‌های الف) پهنه بندی شده درجه ناهمسانگردی با ب) بزرگای خطواری مغناطیسی در توده الوند جنوبی.





شکل ۸- ارتباط میان الف) درجه ناهمسانگردی مغناطیسی با ب) شدت برگوارگی مغناطیسی در توده الوند جنوبی.



شکل ۹- ارتباط میان الف) متغیر شکل با متغیرهای ب) شدت خطوارگی مغناطیسی و ج) شدت برگوارگی مغناطیسی.

## کتابکاری

- اثنی عشری، ا.، ۱۳۹۰- پترولوژی و ژئوشیمی گرانیتوییدهای شمال و شمال غرب الیگودرز، رساله دکتری، دانشگاه تهران.
- اصلانی، ع.، علممحمدیان، ح.، قلمقاش، ج. و نظری، ح.، ۱۳۹۳- مطالعه ریزساختاری و الگوی جایگیری نیمه جنوبی باتولیت الوند با استفاده از ناهمسانگردی پذیرفتاری مغناطیسی (AMS)، فصلنامه علوم زمین سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، شماره ۹۴، صص ۱۳۷ تا ۱۴۶.
- باغبانی، س.، ۱۳۹۱- بررسی دقیق پترولوژی و ژئوشیمی توده‌های گرانیتوییدی ازنا-الیگودرز (شرق لرستان)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی شاهرود.
- سپاهی گرو، ع.، ۱۳۸۷- نقش زینوکریست‌ها، بریونوم‌ها و دایک‌های همزمان با پلوتونیزم در تفسیر تحول ماگمایی مجموعه پلوتونیک الوند: با تأکید بر شواهد زمین‌شناسی و کانی‌شناسی مربوط به آمیختگی ماگمایی، مجله بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران، شماره ۲، صص ۲۴۸-۲۳۳.
- شکاری، س.، صادقیان، م. و رمضانی اومالی، ر.، ۱۳۹۰- تعیین سازوکار جایگیری توده گرانیتوییدی دره‌باغ (شمال غرب الیگودرز) به روش AMS، نوزدهمین همایش بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران، دانشگاه گلستان (گرگان).
- صادقیان، م. و شکاری، س.، ۱۳۹۰- شواهد بارز گرانیتهای تیپ S در توده گرانیتوییدی دره‌باغ (شمال غرب الیگودرز)، نوزدهمین همایش بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران، دانشگاه گلستان (گرگان).
- صادقیان، م. و شکاری، س.، ۱۳۹۲- تعیین سازوکار جایگیری توده گرانیتوییدی دره‌باغ (شمال غرب الیگودرز) به روش ناهمگنی مغناطیسی (AMS)، مجله پترولوژی، شماره ۱۵، صص ۵۵ تا ۷۶.

## References

- Balen, D. & Broska, I., 2011- Tourmaline nodules: products of devolatilization within the final evolutionary stage of granitic melt?. Granite-Related Ore Deposits. Geological Society, London, Special Publications, 350, 53-68.
- Balsley, J. R. & Buddington, A. F., 1960- Magnetic susceptibility anisotropy and fabric of some Adirondack granites and orthogneiss, American Journal of Science. p 258-A.
- Berberian, M. C. & King, G. C. P., 1981- Towards a pale geography and tectonic evolution of iran. Canadian. Journal of earth science. 18, (2), p 210-265.
- Cruden, A. R., 1998- On the emplacement of tabular granites. J. Geol. Soc. Lond. 155, 853±862.
- Harris, N., Vance, D. & Ayres, M., 2000- From sediment to granite: timescales of anatexis in the upper crust. Chem. Geol. 162, 155±167.
- Hogan, J. P. & Gilbert, M. C., 1995- The A-type Mount Scott granite sheet: importance of crustal magma traps. J. Geophys. Res. 100, 15799±15792.
- Hrouda, F., 1982- Magnetic anisotropy of rocks and its application in geology and geophysics. Geophys. Surveys, 5, 37-82.
- Jelink, V., 1981- Characterisation of the magnetic fabrics of rocks, Tectonophysics 79, p.7-63.
- 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, vol, 41, p 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, p 397-412.
- Petford, N., Cruden, A. R., McCafferty, K. J. W. & Vigneresse, J. L., 2000- Granite magma formation, transport and emplacement in the earth crust, NATURE, Vol 408, p 669-673.
- Scalliet, B., Pecher, A., Rochette, P. & Champenois, M., 1994- The Gangotri granite (Garhwal Himalaya): laccolith emplacement in an extending collisional belt. J. Geophys. Res. 100, 585±607.
- Shahbazi, H., Siebel, W., Pourmoafae, M., Ghorbani, M., Sepahi, A. A., Shang, C. K. & Vousoughi 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.
- Stacey, F. D., Joplin, G. & Lindsay, J., 1960- Magnetic anisotropy and fabric of some foliation rocks from SE Australia, Geophysica pura appl., 47, p 30-40.
- Stöcklin, J., 1968- Structural history and tectonics of IRAN: a review , AAPG Bulletin. vol 52 , No . 7 , p . 1229-1258.
- Tarling, D. H. & Hrouda, F., 1993- The magnetic anisotropy of rocks, Chapman & Hall, London. p.217.

# New analysis on the emplacement of Alvand granitoid, using the relationship between the dipping angle of magnetic lineation, foliation and their numerical magnitude

A. Aslani <sup>1\*</sup> & S. Shekari <sup>2</sup>

<sup>1</sup> M.Sc., Environmental and Paleomagnetic Laboratory, Geological Survey of Iran, Tehran, Iran

<sup>2</sup> Ph.D., Faculty of Geology, Shahrood Industrial University, Shahrood, Iran

Received: 2015 January 31

Accepted: 2015 September 22

## Abstract

The southern Alvand granitoid with an outcrop area of 120 km<sup>2</sup> is situated at south and southwest of Hamedan city. The porphyry biotite bearing granitoids are the main constitute of the pluton. Biotite is responsible for magnetic behavior of this pluton. The magnetic lineation (L), foliation (F), and anisotropy (P) parameters of oriented samples of 107 stations were measured at environmental and paleomagnetic laboratory based in Geological Survey of Iran, Tehran, Iran. The analysis of these parameters revealed the existence of reverse relationship between dipping angle of magnetic lineation and foliation with their numerical magnitude, and that the magnetic lineation and foliation are accordance with magnetic anisotropy in Alvand granitoid. The above mentioned relationship may resulted due to interaction of different effective forces during ascending and emplacement of magma as well as their ability in ordering magnetic minerals in various positions within the magma. As orientation of the magnetic minerals increases, the numerical magnitude of magnetic lineation and foliation also, increases. The microstructural analysis also showed that most of the observed orientation in enclaves and alkali feldspars of the studied area is due to magma flow. In this study, where ever the numerical magnitude of magnetic lineation was high, the magnetic ellipsoid was prolate and where ever the numerical magnitude of magnetic foliation was high, the magnetic ellipsoid was oblate. The Darreh-Bagh granitoid at northwest of Aligodarz city in the Sanandaj-Sirjan zone, shows the same relationships between magnetic parameters and is used as a support for findings in this study.

**Keywords:** Magnetic lineation, Magnetic foliation, Alvand granitoid.

For Persian Version see pages 127 to 136

\*Corresponding author: A. Aslani; E-mail:ati84s@yahoo.com