

بررسی جای گیری و جهت حرکت توده گرانیت گلیپایگان با استفاده از روش ناهمسانگردی پذیرفتاری مغناطیسی

سوده میرزایی حاجی باغلو^۱، حبیب علیمحمدیان^۲ و محسن اویسی موخر^{۳*}

۱. دانش‌مؤخره کارشناسی ارشد، گروه ژئوفیزیک، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

۲. دکتری ژئوفیزیک، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، ایران

۳. استادیار، گروه فیزیک، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران

(دریافت: ۹۶/۱۰/۲۷، پذیرش نهایی: ۹۷/۱۰/۱۱)

چکیده

توده گرانیت گلیپایگان واقع در بخش شمالی شهر گلیپایگان متعلق به زون ساختاری سنج-سیرجان دارای سن مطلق پالئوسن بوده که داخل شیب‌های دگرگون شده منسوب به دوره پالئوزوئیک نفوذ کرده است. این توده شامل توده‌های بازالتی، توف‌های پورفیری و سنگ‌های ولکانیکی کاتاکلاستیکی است. در این مقاله نحوه شارش و جای‌گیری توده گلیپایگان به روش ناهمسانگردی پذیرفتاری مغناطیسی مورد مطالعه قرار گرفته است. بر اساس جهت‌های به‌خط‌شدگی، منطقه به دو قسمت، قابل تقسیم می‌باشد که تداعی‌کننده جای‌گیری قارچی شکل توده در دو مرحله می‌باشد. در مرحله اول، توده اصلی به‌صورت قارچی شکل به سمت بالا صعود کرده و احتمالاً به‌درون آن در مرحله بعدی توده قارچی شکل دیگری تزریق شده است. جهت‌های حاشیه‌ای این توده نشان دهنده روندهای شمال غرب-جنوب شرق و شمال شرق-جنوب غرب بوده و در قسمت مرکزی جهت‌ها دارای روند شرقی-غربی می‌باشند. بنابراین بر اساس تفسیر کل جهت‌های ناهمسانگردی در پذیرفتاری مغناطیسی توده فوق، وجود گسلی با روند تقریبی شمالی-جنوبی در قسمت مرکزی محتمل می‌باشد. نتایج و تفسیر مطالعات سنگ‌شناسی، تأیید دیگری بر وجود گسلی با روند تقریبی شمالی-جنوبی در مرکز توده گلیپایگان است. وجود گسل‌ها و نفوذ توده آذرین در تشکیلات قدیمی‌تر در محل مطالعه توسط محققین دیگر هم گزارش شده است. این مطالعه نشان می‌دهد که شدت ناهمسانگردی مغناطیسی در بخش غربی گسل از شدت بیشتری نسبت به شرق آن برخوردار است. دمای کوری نمونه‌ها نشان می‌دهد که مگنتیت و هماتیت کانی‌های اصلی حاملین مغناطیسی توده گلیپایگان می‌باشند.

واژه‌های کلیدی: ناهمسانگردی پذیرفتاری مغناطیسی، گرانیت، به خط شدگی، گسل.

۱. مقدمه

مانع ارائه نتایج در حجم وسیع و دقیق می‌شود. به‌علت مشکلات فوق، در سال ۱۹۹۷ روش جدیدی توسط بوچز (بوچز، ۱۹۷۷) به نام روش ناهمسانگردی پذیرفتاری مغناطیسی (Anisotropy of Magnetic Susceptibility, AMS) ارائه شد که بر مبنای تعیین پارامترهای مغناطیسی (Magnetic Fabric) می‌باشد. پارامترهای حاصل از روش فوق الذکر، مبنی بر رفتار مغناطیسی کانی‌های مغناطیسی هستند. این پارامترها برای تشخیص نوع کانی‌های مغناطیسی و ویژگی‌های آنها بسیار مفید هستند. همچنین با بهره‌گیری از نتایج اندازه‌گیری پذیرفتاری مغناطیسی نمونه‌ها و محاسبه پارامترهایی که در بخش‌های آتی به

اندازه‌گیری فابریک ماگمایی، ابتدا توسط روش‌های سنتی (مولیر و بوچز، ۱۹۸۲) صورت گرفته است. اندازه‌گیری‌های فابریک ماگمایی به روش سنتی، معمولاً بر پایه مشاهدات و اندازه‌گیری‌های صحرائی عناصر ساختاری از جمله خط‌وارگی (Lineation) و برگ‌وارگی (Foliation) ماگمایی استوار است. نبود رخنمون واضحی از سنگ‌ها در کل منطقه مورد مطالعه برای اندازه‌گیری فابریک سنگ‌ها، همگن بودن توده، عدم وجود کانی‌های جهت‌دار و کشیده مثل بیوتیت و هورنبلند در برخی از سنگ‌ها، وقت‌گیر و زیاد بودن مراحل اندازه‌گیری از جمله معایب این روش هستند که

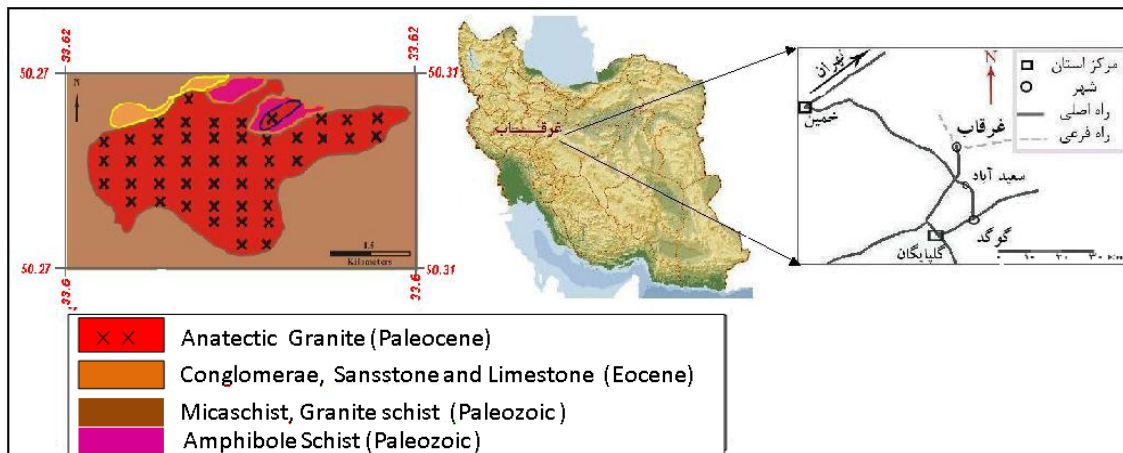
۲. اطلاعات جغرافیایی و زمین‌شناسی توده گرانیتوئیدی گلپایگان

توده گلپایگان در ۲۳ کیلومتری شمال شرقی گلپایگان واقع شده است. توده گرانیتی گلپایگان در ۱۹ کیلومتر مسیر گلپایگان-خمین از طریق جاده فرعی روستای سعیدآباد قابل دسترسی است (شکل ۱).

این توده در داخل شیست‌های منسوب به پرکامبرین نفوذ کرده و گرمای بالای این توده باعث هورن‌فلسی شدن شیست‌های اطراف شده است (شکل ۱). وجود کانی‌های شاخص سلیمانیت (Seligmannite)، نشان دهنده دمای بالا در سنگ‌های اطراف این توده است. در بخش‌هایی، گرانیت دارای بلورهای درشت و دگرریخت (Deformed) شده است. کانی‌های بارز توده گرانیت گلپایگان عبارتند از: کوآرتز، پلاژیوکلاز اسیدی (Acidic Plagioclase) تا متوسط (الیگوکلاز-آندزین) (Andesine-Oligoclase) و بلورهای بی‌شکل اورتوکلاز (orthoclase) که گاه پرتیتی (Perthitic) شده‌اند.

بلورهای فلدسپات موجود در گرانیت به‌طور کلی درشت بوده و اندازه برخی از آنها گاهی بزرگتر از ۳ میلی‌متر است. کانی‌های میکایی توده، شامل تیغه‌های بیوتیت (Biotite) و مسکوویت (Moscovite) و سریسیت (Sericite) هستند. در نمونه دیگری از این گرانیت‌ها، دگرریختی به‌شکل توسعه برگ‌وارگی (Foliation) دیده می‌شود. بافت گرانیت، پورفیروبلاستیک (Porfiroplastic) و گرانوبلاستیک و گاهی دارای جهت‌یافتگی است. کانی‌های مافیک، بیوتیت و آمفیبول (Amphibole) به‌همراه بلورهای گرونا (Grona) در زمینه سنگ وجود دارند. سن مطلق این توده گرانیتی با روش پتاسیم آرگون بر روی کانی بیوتیت و سنگ کل به‌ترتیب ۵۷ میلیون سال، یعنی پالئوسن پایانی است (رشیدنژاد و همکاران، ۲۰۰۲).

آنها اشاره خواهد شد، می‌توان به اطلاعات ارزشمندی در مورد سازوکار جایگزینی توده‌های نفوذی نیز دست یافت (صادقیان و همکاران، ۲۰۰۵). در ارتباط با استفاده از روش ناهمسانگردی در پذیرفتاری مغناطیسی در تعیین نحوه جای‌گیری توده‌های آذرین و تعیین منبع آنها، تحقیقات زیادی در جهان صورت گرفته است که به دو نمونه از آنها اشاره می‌شود. (گیماراس و دیگران، ۲۰۱۸) جهت تعیین چگونگی جای‌گیری سنگ‌های آذرین سیلیسی ناحیه پارانا و اتندکا در برزیل از روش AMS استفاده کرده و به این نتیجه رسیده‌اند که این سنگ‌ها در جا تشکیل شده و از نقاط دیگر به محل فعلی جابه‌جا نشده‌اند. پارامترهای مورد استفاده آنها، میزان برگ‌وارگی (Foliation)، درجه ناهمسانگردی و پارامتر شکل می‌باشد. آنها برای تعیین نوع و پایداری دانه‌های فرومغناطیسی، از آزمایش‌های ترمومغناطیسی (Thermomagnetic experiment)، آزمایش حلقه پسماند (Hysteresis loop) استفاده کرده‌اند. تأکید محققین فوق بر استفاده از K_{max} (بیشینه پذیرفتاری مغناطیسی) می‌باشد. همچنین اسکیتا و دیگران (اسکیتا و همکاران، ۲۰۱۰) از روش AMS به‌منظور بررسی مناطق دگرگون شده (Deformation zones) و چگونگی تکامل و جای‌گیری توده‌های آذرین در ناحیه شلفته (district Skellefte) در کشور سوئد استفاده کرده‌اند. در این تحقیق، آنها از پارامترهای درجه ناهمسانگردی، پارامتر شکل و K_{max} جهت بررسی وضعیت تکتونیکی، جای‌گیری توده‌ها و چگونگی دگرگونی آنها بهره گرفته‌اند. در این مقاله با استفاده از روش AMS، منطقه‌ای در شمال شرق شهر گلپایگان مورد بررسی قرار گرفته است. هدف از این مطالعه بررسی نحوه چگونگی جای‌گیری توده گرانیتی واقع در منطقه با استفاده از روش فوق می‌باشد.



شکل ۱. نقشه دسترسی به توده گرانیتی (اطلس راه‌های ایران، ۱۳۸۹) به همراه نقشه زمین‌شناسی (ساده شده از نقشه ۱/۱۰۰۰۰ محلات، سازمان زمین‌شناسی کشور، ۱۳۸۴).

۳. بررسی مقاطع

به منظور مطالعه پارامترهای مغناطیسی توده گرانیتوئیدی گلیپایگان، مغزه‌گیری با دستگاه قابل حمل مغزه‌گیر انجام گرفت. در این مطالعه ۱۷۱ مغزه به طول ۱۰ سانتی‌متر و قطر ۲/۵ سانتی‌متر از ۲۵ سایت تهیه شد. سپس نمونه‌هایی به طول ۲۲ میلی‌متر از نمونه اصلی در آزمایشگاه محیط و دیرینه مغناطیسی سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی تهیه شد. از مانده‌های قطعات شکسته شده به عنوان نمونه پودری برای آزمایش تعیین دمای کوری کانی‌های مغناطیسی استفاده شده است. به منظور انجام مطالعات پتروگرافی و کانی‌شناسی توده گرانیتی گلیپایگان، برداشت نمونه‌های سنگی هم‌زمان با برداشت مغزه صورت گرفت. برای مطالعه کانی‌شناسی و تعیین نوع کانی‌ها (اصلی، فرعی و ثانویه)، بافت، نام سنگ و دیگر شواهد پتروگرافی، حدود ۲۵ مقطع نازک میکروسکوپی و ۵ مقطع صیقلی تهیه شد.

۳-۱. مقاطع نازک

بر اساس مطالعات سنگ‌شناسی مقاطع نازک، نوع سنگ‌های تشکیل‌دهنده توده گرانیتوئیدی گلیپایگان عبارتند از: گرانیت میلونیتی شده (Mylonitic)، گرانیت، مسکویت، گرانیت دانه‌ریز کمی تجزیه شده، گرانیت پورفیری (Porphyry) کاتاکلاستی (Cataclastic) یا

میلونیتی، گرانیت دو میکا آهن‌دار شده، گرانیت پرفیری کمی تکتونیزه، گرانیت تورمالین‌دار (Tourmaline) و گرانیت پورفیری کمی دگرریخت شده است. روی هم‌رفته بافت این سنگ‌ها پورفیری، هتروگرانولار (Hetrogranular) یا میکروگرانولار (Microgranular)، پرتیتی، گرافیکی، گرانولار و کاتاکلاستیک با زمینه ساروجی است. کانی‌های ثانویه تشکیل‌دهنده این توده گرانیتی عبارتند از: مسکویت، کانی رسی، سریسیت، اکسید آهن، کلریت و لوکوکسن. همچنین کانی‌های کدر، آپاتیت (Apatite) زیرکن، تورمالین و اسفن (Sphene) از جمله کانی‌های فرعی این توده هستند. این توده گرانیتی در حواشی و همبری خود با سنگ میزبان دچار دگرریختی شده است. گاهی دگرریختی تا ایجاد پهنه‌های برشی پیش رفته است. با توجه به بررسی‌های پیشین، مشابه این توده گرانیتوئیدی در مناطق دیگر موهه-گلیپایگان نیز دیده می‌شود که گاهی دارای حواشی به شدت میلونیتی شده است. این ویژگی نشان می‌دهد که نفوذ گرانیت هم‌زمان با زمین‌ساخت انجام شده است.

از مطالعات انجام گرفته بر روی مقاطع نازک و مطالعات ناهمسانگردی مغناطیسی منطقه می‌توان نتیجه گرفت که به احتمال قوی در این محل یک زون گسلی وجود دارد. مشاهدات صحرایی نشان می‌دهد که محل مطالعه با یک پهنه گسلی تطابق دارد.

بررسی‌های نمونه ایستگاه ۲۴ نشان می‌دهد که ویژگی بارز این ایستگاه وجود کانی‌های کوارتزهای درشت بلور با خاموشی موجی است.

مطالعه نتایج از مقاطع نازک و بررسی بافت سنگ‌های آذرین، دگرگونی نشان می‌دهد که توده گرانیتی تنها متحمل دگرریختی شده است و هیچ‌گونه شواهد دگرگونی در آن مشاهده نمی‌شود.

۲-۳. مقاطع صیقلی

نتایج حاصل از مطالعات مقاطع صیقلی نشان می‌دهد که کانی فلزی موجود در نمونه‌ها عبارتند از:

۱- روتیل و آناتاز (Anatase and Rutile): این کانی‌ها به صورت کریستال‌های شکل‌دار و نیمه‌شکل‌دار با ابعاد تقریبی ۲۰۰-۴۰ میکرون (شکل ۲-الف) در مقاطع دیده

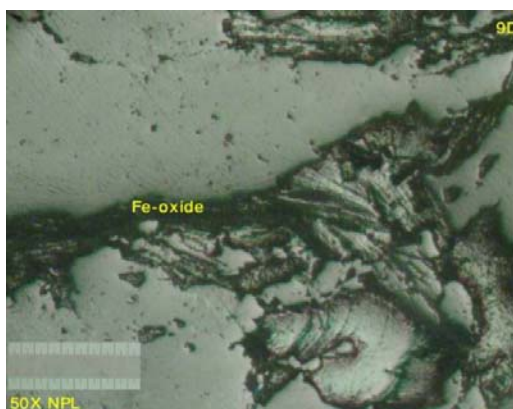
می‌شود.

۲- اکسیدهای و هیدروکسیدهای ثانویه آهن: این کانی‌ها به میزان محدود و به شکل آغشتگی در سنگ میزبان و بیشتر درون کانی‌های سیلیکاته و فضاهای مابین سایر دانه‌ها در مقاطع دیده می‌شود. (شکل ۲-ب).

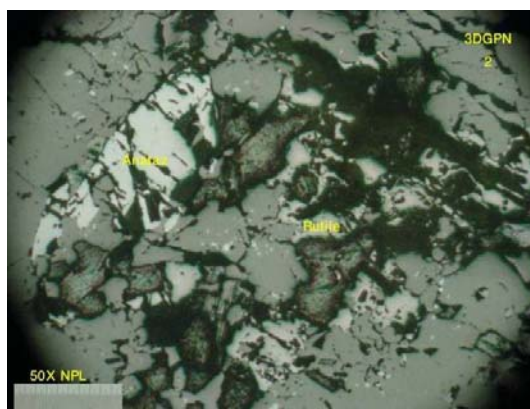
۳- هماتیت: این کانی به صورت ذرات پراکنده، کریستال‌های سوزنی و تیغه‌ای به شکل جهت‌دار در مقاطع دیده می‌شود. (شکل ۲-ج).

۴- پیریت: این کانی به صورت تک‌دانه، دارای ابعاد تقریبی ۳۰-۴۰ میکرون نیمه‌اتومورف و دگرسان نشده در مقاطع دیده می‌شود.

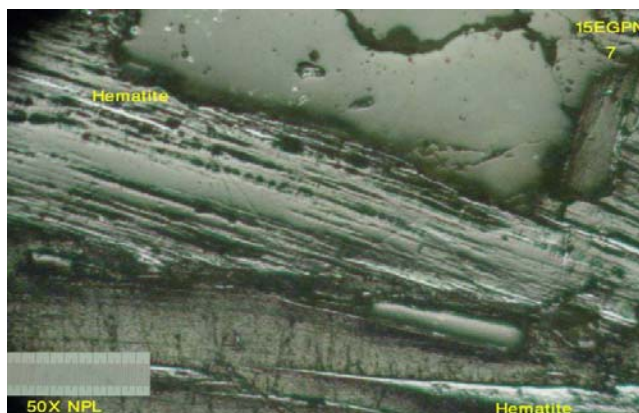
۵- ایلمنیت: این کانی به صورت کریستال‌های نیمه‌شکل‌دار و بی‌شکل با ابعاد تقریبی ۲۰۰-۳۰ میکرون در مقاطع دیده می‌شود.



(ب)



(الف)



(ج)

شکل ۲. الف) روتیل و آناتاز، ب) اکسید و هیدروکسیدهای آهن، ج) هماتیت.

چون ماتریس متقارن است، بنابراین در آن $K_{ij} = K_{ji}$ می باشد. پس بنابراین مؤلفه های غیرقطری ماتریس همدیگر را خنثی می کنند. بنابراین داریم:

$M_1 = K_{11} H_1$, $M_2 = K_{22} H_2$, $M_3 = K_{33} H_3$
 K_{33} , K_{22} , K_{11} مقادیر ویژه تانسور هستند و به ترتیب با علامت های K_{max} و K_{int} و K_{min} نشان داده می شوند (تارلینگ و هورودا، ۱۹۹۳) بر همین اساس در مطالعات ناهمسانگردی مغناطیسی، پذیرفتاری مغناطیسی به صورت یک بیضوی نمایش داده می شود که به بیضوی مغناطیسی معروف است (شکل ۳).

معمولاً K_{max} , K_{int} و K_{min} را به ترتیب به صورت K_1 , K_2 و K_3 نمایش می دهند. در عمل مقادیر K_1 , K_2 و K_3 از نظر مقدار و جهت توسط ستگاه اندازه گیری تعیین شده و در حافظه رایانه متصل به آن ذخیره می شود. معمولاً برای تعیین جهت از آمار داده ای جهتی که بر روی یک کره به شعاع واحد قرار دارند استفاده می شود. این مقادیر سپس برای تعیین پارامترهای مورد نیاز مورد استفاده قرار می گیرند. خطوارگی (Lineation) به صورت $L = \frac{K_1}{K_2}$ تعریف می شود که جهت آن (آزیموت و شیب آن) توسط پارامتر K_1 تعیین می شود. معمولاً نمایشگر متصل به دستگاه داده ها را بر روی استریونت هم نمایش می دهد.

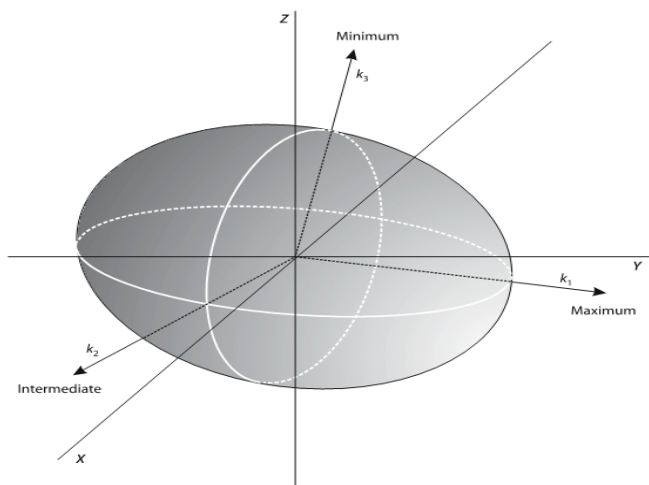
۴. ناهمسانگردی در پذیرفتاری مغناطیسی سنگ ها (AMS)

در محاسبات ناهمسانگردی مغناطیسی، خواص مغناطیسی کل سنگ، از مجموع مغناطیس کل کانی های مغناطیس دار سنگ به دست می آید. به عبارتی می توان گفت ناهمسانگردی پذیرفتاری مغناطیسی یک سنگ حاصل جهت یابی ناهمسانگرد (Anisotropic) کانی های مغناطیس دار در سنگ ها می باشد.

با قرارگرفتن نمونه در میدان مغناطیسی، گشتاورهای مغناطیسی حوضه ها موازی با جهت میدان القایی جهت گیری می کنند و مغناطیس شدگی القایی در نمونه ایجاد می شود.

شدت مغناطیس شدگی یا مغناطش (M) به شدت میدان مغناطیس کننده اعمال شده بر جسم (H) بستگی دارد و رابطه خطی $M=KH$ در بین آنها برقرار می باشد. در مواد همگن، K یک ثابت می باشد. اما اگر ماده ناهمسانگرد باشد، K توسط مجموعه ای از ثابت های K_{ij} نشان داده می شود. این ثابت ها یک رابطه غیرخطی به صورت ماتریس با ضریب تانسوری متقارن مرتبه دوم را تشکیل می دهند. پس رابطه به صورت زیر تعریف می شود (تارلینگ و هورودا، ۱۹۹۳).

$$\begin{bmatrix} M_1 \\ M_2 \\ M_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} K_{11} & K_{12} & K_{13} \\ K_{21} & K_{22} & K_{23} \\ K_{31} & K_{32} & K_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} H_1 \\ H_2 \\ H_3 \end{bmatrix} \quad (1)$$



شکل ۳. تصویر بیضوی مغناطیسی، بیضوی افقی را بیضوی کلوجه ای و بیضوی عمودی را بیضوی دوکی یا سیگاری می نامند (لانزا و ملونی، ۲۰۰۶).

همچنین در نقشه کنتوربندی شیب و جهت خطوارگی مغناطیسی توده (شکل ۶)، شیب و جهت این مناطق به ترتیب ۲۶۱/۴۴، ۳۸/۷۹ و ۲۲/۱۷ می باشد که ممکن است شیب تقریبی ۷۹ درجه در ایستگاه ۱۲ (غرب توده گلپایگان) نشانگر منشأ توده گلپایگان باشد. همچنین شیب کم ۱۷ درجه خطوارگی مغناطیسی در منطقه ایستگاه ۱۷ نشانگر سیل بودن توده در این منطقه است. جهت خطوارگی مغناطیسی محاسبه شده برای ایستگاه ۱۷ در خلاف جهت ایستگاه ۸ می باشد که احتمالاً نشانگر رویداد گسلش در این منطقه می باشد.

با بررسی شدت خطوارگی مغناطیسی، شیب و جهت های به دست آمده برای کل نمونه های برداشت شده از توده گلپایگان به این نتیجه می رسیم که بالا آمدگی ماگما می تواند در دو مرحله رخ داده باشد. در مرحله اول ماگمای گرانیته اصلی به سمت بالا صعود کرده و در مرحله دوم یک ماگمای گرانیته دیگری با روند تقریبی شمال غرب - جنوب شرق در داخل توده اصلی نفوذ کرده است (شکل ۶).

در مرحله اول (ناحیه ۱ در شکل ۵)، جهت های به دست آمده خطوارگی مغناطیسی در قسمت های شمال، شمال شرق، جنوب شرق و جنوب، به سمت جنوب غرب توده گلپایگان بوده در حالی که جهت های قسمت غرب این ناحیه به سمت جنوب شرق توده می باشند. بنابراین جهت توده گلپایگان در مرحله اول به صورت همگرا با روندهای شمال غرب - جنوب شرق و شمال شرق - جنوب غرب بوده که بیانگر جای گیری قارچی شکل توده می باشد.

در مرحله دوم (ناحیه ۲ در شکل ۵) توده گلپایگان جهت همگرا دارد با این تفاوت که قسمت شرق منطقه دارای جهت غربی و قسمت غرب منطقه دارای جهت شرقی می باشد.

جهت های به دست آمده برای ایستگاه های اطراف گسل در هر دو ناحیه از روند جهت های دیگر نواحی ۱ و ۲ تبعیت نمی کنند و جهت های شرق گسل به سمت شرق توده گلپایگان و جهت های غرب گسل به سمت غرب

در واقع پارامتر خطوارگی از نظر جهت نحوه جهت گیری بیضوی پذیرفتاری مغناطیسی را تعیین می نماید (شکل ۳). در این مطالعه از مقادیر اندازه کمیت L برای نمایش شدت خطوارگی و از جهت K_1 برای نمایش آزمون و شیب خطوارگی استفاده شده است. همچنین برگ وارگی با پارامتر $F = \frac{K_2}{K_3}$ تعریف می شود که K_2 بیانگر جهت برگ وارگی است که دارای آزمون و شیب است. شدت برگ وارگی با اندازه F تعیین می شود. در مورد تعیین درجه ناهمسانگردی و پارامتر شکل هم روابط ویژه ای وجود دارد که در بخش مربوطه تعریف شده اند. لازم به ذکر است که مقادیر کمیت های K_1 ، K_2 و K_3 استخراج شده از دستگاه اندازه گیری بدون هیچ گونه پردازشی توسط کاربر مورد استفاده قرار گرفته اند.

۴-۱. تجزیه و تحلیل نتایج حاصل از اندازه گیری های ناهمسانگردی مغناطیسی نمونه ها

۴-۱-۱. تفسیر نقشه خطوارگی (Lineation) مغناطیسی (L)

شکل بیضوی بر اساس اختلاف بین محورهای آن بیان می شود که معروف ترین آنها پارامتر L است که خطوارگی شکل بیضوی مغناطیسی را توصیف می کند (رابطه ۲) (بالسلی و بودینگتن، ۱۹۶۰).

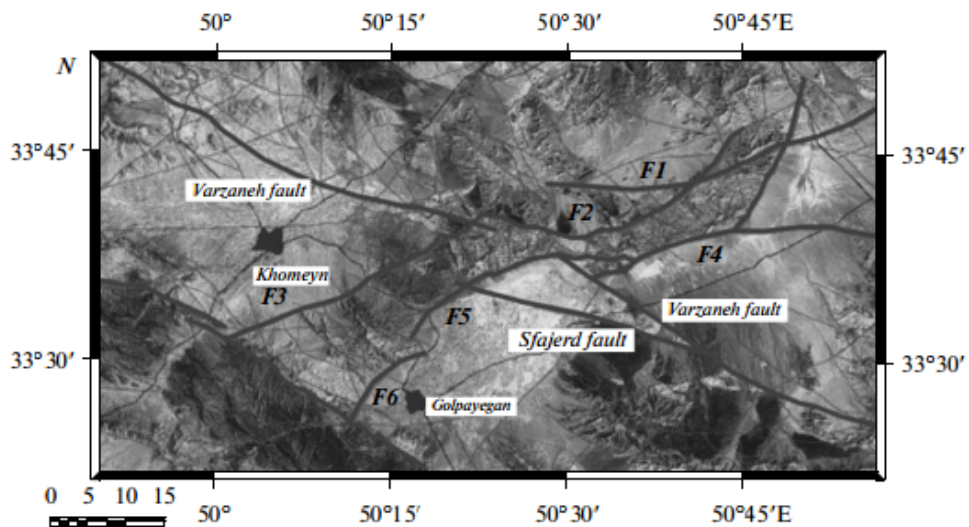
$$L = \frac{K_1}{K_2} \quad (2)$$

در رسم نقشه های خطوارگی مغناطیسی از نماد (\uparrow) که معرف خطوارگی مغناطیسی در هر ایستگاه است استفاده می شود. با رسم نقشه شدت و شیب خطوارگی های مغناطیسی و به نمایش در آوردن تغییرات آن به صورت کنتور شدت و شیب خطوارگی (شکل های ۵ و ۶)، تفسیرهای مربوطه آسان تر صورت می گیرد.

شدت خطوارگی مغناطیسی بیانگر شدت به خط شدگی گشتاورهای مغناطیسی نمونه ها می باشد. با توجه به نقشه کنتوربندی شدت خطوارگی مغناطیسی (شکل ۵)، شدت ایستگاه های ۸، ۱۲ و ۱۷ بیشترین مقادیر را دارا می باشند.

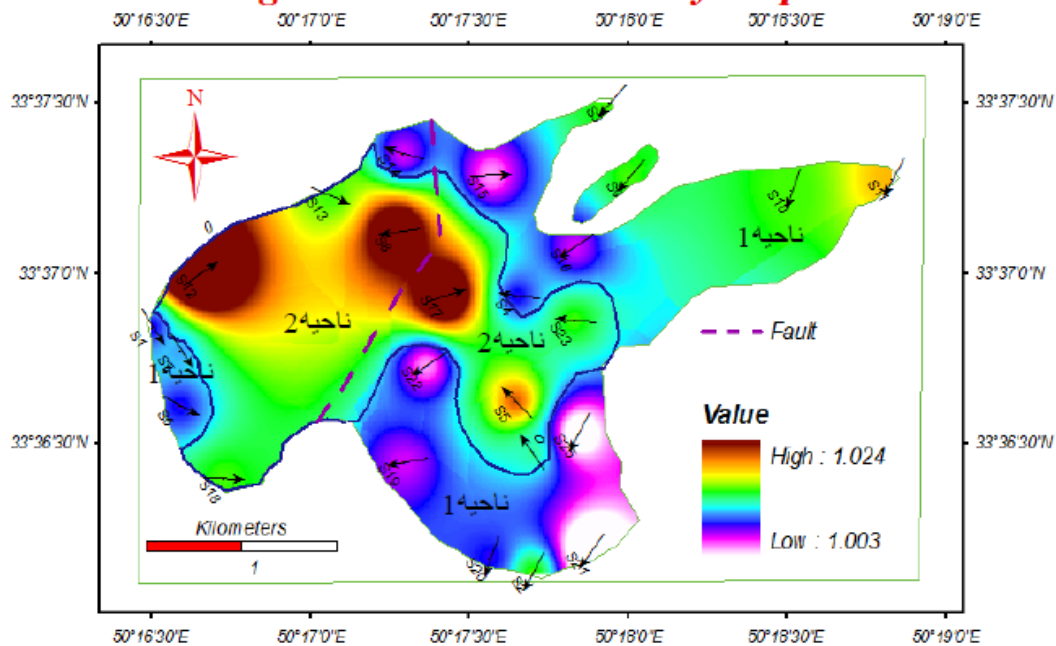
توده می باشند. خود قرار داده است. گسل دیگر این منطقه، گسل اسفجرد با راستای شمال غرب - جنوب شرق می باشد. وجود این گسل ها همان گونه که بیان شد توسط مطالعات ناهمسانگردی در پذیرفتاری مغناطیسی هم به اثبات رسیده است. کریمی و همکاران همچنین یک فرآیند سه مرحله ای برای جای گیری توده های آذرین منطقه شمال گلپایگان در نظر گرفته اند.

همچنین مطالعات کریمی و همکاران (کریمی و همکاران، ۲۰۱۲) نشان می دهد که منطقه شمال و شمال شرق گلپایگان به شدت تکتونیزه و دارای گسل های فراوانی می باشد (شکل ۴). همان گونه که شکل ۴ نشان می دهد گسل های F_1 ، F_3 و F_6 با راستای شمال شرق - جنوب غرب به شدت منطقه شمال گلپایگان را تحت تأثیر

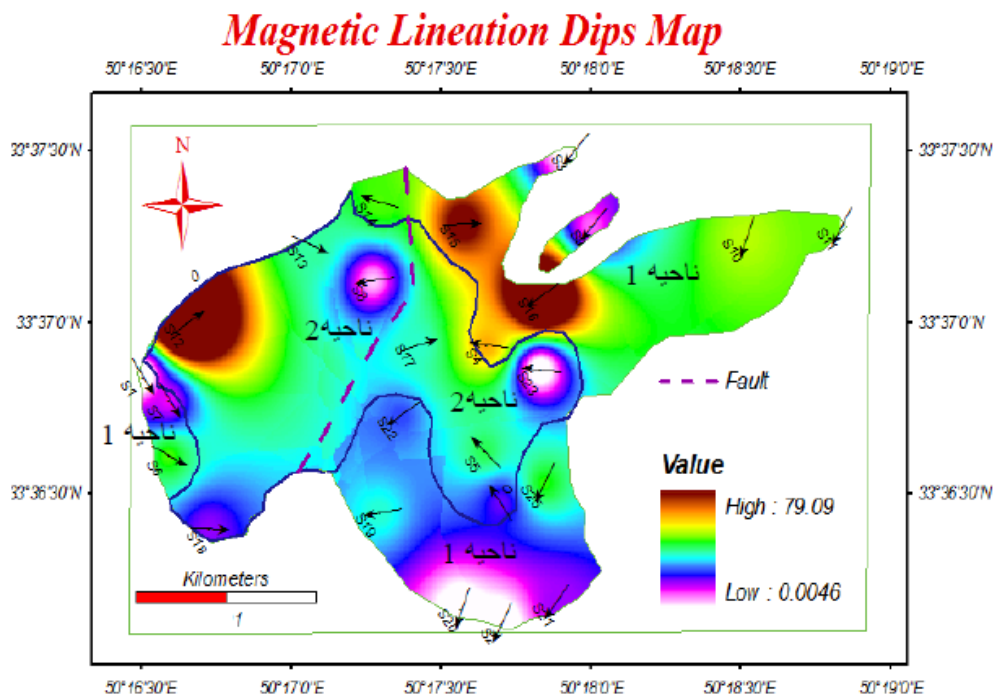


شکل ۴. گسل های مهم در شمال شرق گلپایگان (کریمی و همکاران، ۲۰۱۲).

Magnetic Lineation Intensity Map




شکل ۵. نقشه پرنبدی تغییرات شدت خطوارگی مغناطیسی (این مطالعه).



شکل ۶. نقشه پربندی تغییرات شیب خطوارگی مغناطیسی (این مطالعه).

۴-۱-۲. تفسیر نقشه برگ‌وارگی (Foliation) مغناطیسی (F) پارامتر F، برگ‌وارگی شکل بیضوی مغناطیسی را توصیف می‌کند (رابطه ۳) (خان، ۱۹۶۲).

$$F = \frac{K_2}{K_3} \quad (3)$$

در رسم نقشه‌های برگ‌وارگی مغناطیسی از نماد  استفاده می‌شود. با به نمایش درآوردن تغییرات برگ‌وارگی‌های مغناطیسی به صورت کنتور بندی شدت و شیب برگ‌وارگی‌ها (شکل ۶ و شکل ۷)، تفسیرهای مربوطه بسیار آسان‌تر صورت می‌گیرد.

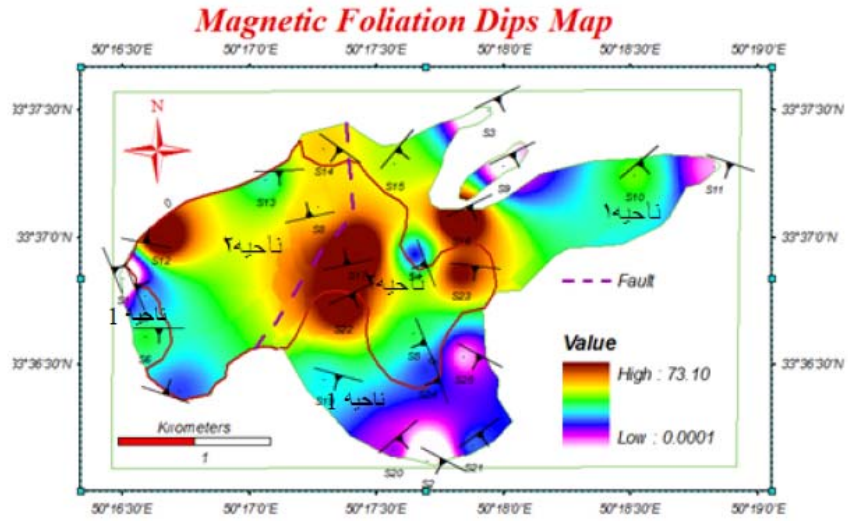
نقشه اطلاعات برگ‌وارگی‌های مغناطیسی (شکل ۷) نشان می‌دهد که در مناطق مرکزی منطقه مورد مطالعه، شیب برگ‌وارگی مغناطیسی زیادتر از مناطق حاشیه می‌باشد. همچنین غرب گسل از شدت برگ‌وارگی مغناطیسی بیشتری برخوردار می‌باشد (شکل ۸).

۴-۱-۳. تفسیر نقشه درصد ناهمسانگردی مغناطیسی (P) درجه ناهمسانگردی مغناطیسی، رابطه بین K_1 و K_3

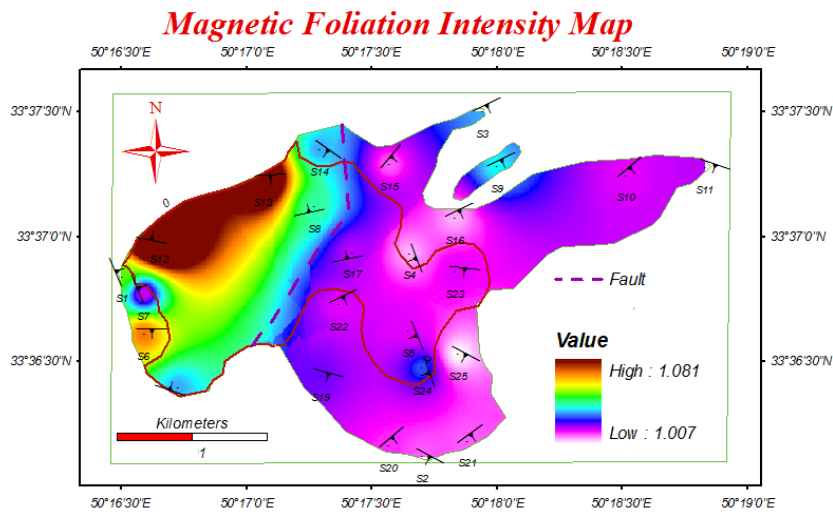
است (رابطه ۴) (ناگاتا، ۱۹۶۱). همچنین مقادیر K_1 و K_3 در ارتباط با عواملی مانند اندازه کانی‌های مغناطیسی و چگونگی آرایش آنها است (هارگراوس و همکاران، ۱۹۹۱؛ استفنسن، ۱۹۹۴؛ گری گوری و همکاران، ۱۹۹۵). هرچه تفاوت پذیرفتاری مغناطیسی در امتداد محورها بیشتر باشد درجات ناهمسانگردی بیشتر می‌شود (رابطه ۴).

$$P = P_2 = \frac{K_1}{K_3} \quad (4)$$

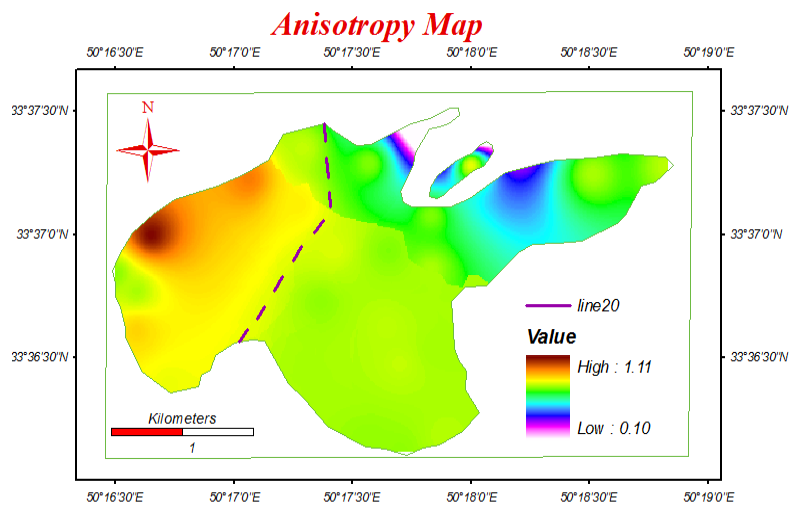
دامنه تغییرات ناهمسانگردی مغناطیسی منطقه مورد مطالعه از ۰/۱ تا ۱/۱ درصد (شکل ۹) تغییر می‌کند. با توجه به نقشه پربندی ناهمسانگردی مغناطیسی می‌توان گفت که در قسمت شرق گسل مقدار ناهمسانگردی از شمال به جنوب افزایش می‌یابد. هرچه از گسل به سمت شمال غرب پیش رویم مقدار درصد ناهمسانگردی مغناطیسی افزایش می‌یابد. در حالت کلی شدت ناهمسانگردی مغناطیسی در بخش غربی منطقه بیشتر از شرق منطقه توده می‌باشد (شکل ۹).



شکل ۷. نقشه پربندی تغییرات شیب برگ‌وارگی مغناطیسی (این مطالعه).



شکل ۸. نقشه پربندی تغییرات شدت برگ‌وارگی مغناطیسی (این مطالعه).



شکل ۹. نقشه پربندی درصد ناهمسانگردی مغناطیسی (این مطالعه).

مقادیر مثبت برخوردار است که نشانگر بشقابی یا پهن بودن شکل بیضوی مغناطیسی است (شکل ۱۰).

۵. تفسیر منحنی‌های حاصل از داده‌های آزمایش کانی‌شناسی

کانی‌های فرومغناطیس موجود در یک نمونه را می‌توان با آزمایش ترمومغناطیسی در یک میدان قوی ثابت تعیین نمود. در این آزمایش، مغناطیدگی یک نمونه به‌طور پیوسته با افزایش دما و در حضور یک میدان مغناطیس قوی اندازه‌گیری می‌شود. بر اساس نتایج اندازه‌گیری، منحنی پذیرفتاری مغناطیسی بر حسب دما ترسیم شده و با توجه به تغییرات پذیرفتاری مغناطیسی، کانی‌های مغناطیسی سنگ قابل تشخیص می‌باشد (جدول ۱).

معمولاً این آزمون را به‌صورت رفت (افزایش دما) و برگشت (کاهش دما) انجام می‌دهند که هر تغییر در پذیرفتاری مغناطیسی نشانگر کانی خاص می‌باشد. اگر این تغییرات در مراحل رفت و برگشت با هم یکی نباشند، نشانگر تغییرات شیمیایی در نمونه خواهد بود که در حین حرارت رخ داده است.

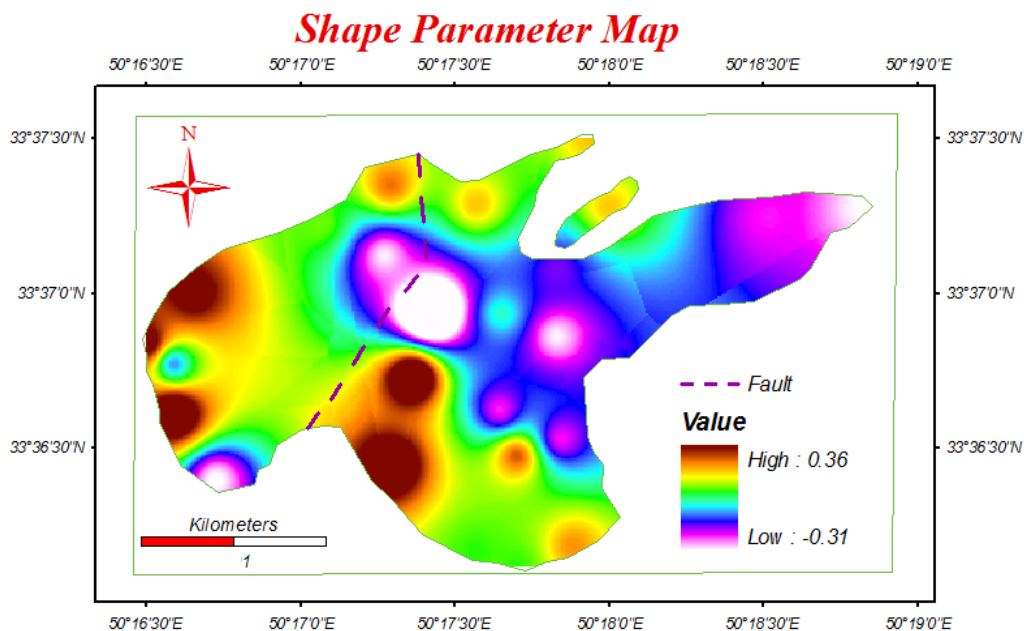
۴-۱-۴. نقشه پارامتر شکل بیضوی مغناطیسی (T)

معروف‌ترین پارامتر در ناهمسانگردی مغناطیسی، پارامتر شکل T است که به‌توصیف شکل بیضوی مغناطیسی می‌پردازد (رابطه ۵):

$$T = \left[\frac{2(\eta_2 - \eta_3)}{(\eta_1 - \eta_3)} \right] - 1, \quad \begin{cases} \eta_1 = \ln(k_1) \\ \eta_2 = \ln(k_2) \\ \eta_3 = \ln(k_3) \end{cases} \quad (5)$$

اگر $-1 \leq T < 0$ باشد بیضوی مغناطیسی حاصل به‌شکل دوکی، سیگاری و کشیده (Prolate) درمی‌آید. در این حالت $K_1 > K_2 \geq K_3$ است. اگر $0 \leq T < 1$ قرار گیرد شکل حاصل کلوچه‌ای و بشقابی (Oblate) خواهد بود. در حالتی که $T = 0, p = p_j$ باشد شکل بیضوی به‌صورت کره خواهد بود (جلنیک، ۱۹۸۱؛ هورادا، ۱۹۸۲).

با توجه به مقادیر شکل بیضوی مغناطیسی ($-0.3 < T < 0.3$) و بررسی‌های نقشه پربندی پارامتر شکل بیضوی مغناطیسی می‌توان گفت که از شمال شرق تا مناطق مرکزی توده، مقدار T منفی است که بیانگر دوکی شکل بودن بیضوی‌های مغناطیسی می‌باشد و در بقیه مناطق، T از



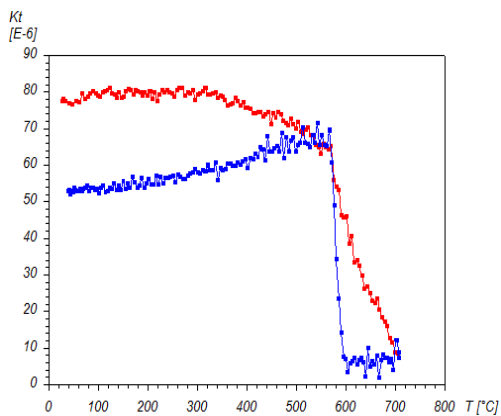
شکل ۱۰. نقشه پربندی شکل بیضوی (این مطالعه).

جدول ۱. دمای کوری و دمای نیل کانی های فرومغناطیسی (مریل و همکاران، ۱۹۹۶).

Mineral	Composition	Magnetic state	$M_s \times 10^3 (A/m)$	$T_c (^{\circ}C)$
Magnetite	Fe_3O_4	Ferrimagnetic	476	580
Ulvo spinel	Fe_2TiO_4	Antiferromagnetic	-----	-150
Hematite	$xFe_2O_3 (Hexagonal)$	Antiferromagnetic with a parasitic ferromagnetism	≈ 2.2	≈ 680
Ilmenite	$FeTiO_3$	Antiferromagnetic	-----	-233
Maghemite	γFe_2O_3	Ferrimagnetic	426	≈ 600
Pyrrhotite	$Fe_{1-x}S (0 < x < 1/7)$	Ferrimagnetic	90	≈ 320
Trolite	FeS	Antiferromagnetic	-----	≈ 305
Jacosite	$MnFe_2O_4$	Ferrimagnetic	424	≈ 300
Goethite	$xFeOOH$	Antiferromagnetic with a parasitic ferromagnetism	$\approx 2(?)$	≈ 120
Iron	Fe	Ferromagnetic	1714	770
Cobalt	Co	Ferromagnetic	1422	1131
Nickel	NI	Ferromagnetic	484	358
Awaruite	Ni_3Fe	Ferromagnetic	950	620
Wairauite	CoFe	Ferromagnetic	1936	986

در شکل ۱۱-ب، فرآیند گرم کردن نشانگر وجود مگنتیت و هماتیت در نمونه سنگی برداشت شده می باشد. فرآیند گرم کردن باعث تغییرات شیمیایی در بافت نمونه شده است لذا در فرآیند سرد شدن، هماتیت به مگنتیت تبدیل شده است.

در شکل ۱۲، فرآیند گرم کردن نشانگر وجود مگنتیت و هماتیت در نمونه سنگی برداشت شده می باشد ولی در فرآیند سرد شدن، به دلیل تغییرات شیمیایی هماتیت به مگنتیت و تیتانومگنتیت (Titanomagnetite) تبدیل شده و در دمای تقریباً ۳۰۰ تا ۴۸۰ درجه سانتی گراد پدیده تغییرات کریستالی در بافت نمونه رخ داده است.

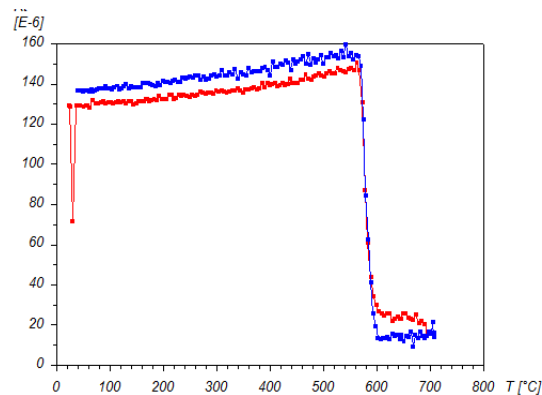


ب) کانی مغناطیسی بارز موجود در این نمونه مگنتیت می باشد.

۱-۵. برگزیده ای از منحنی های حاصل از داده های آزمایش کانی شناسی

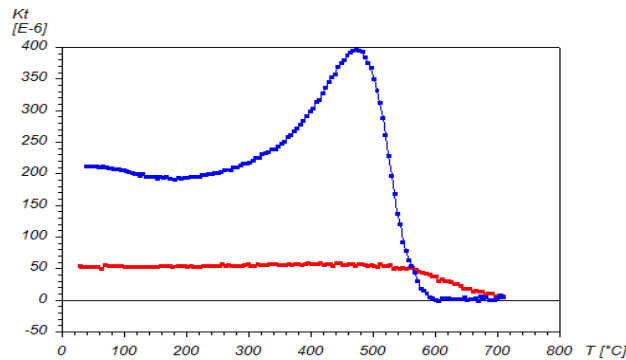
در نمودارهای ترسیم شده، منحنی آبی رنگ بیانگر مرحله سرد شدن (Cooling) و منحنی قرمز رنگ بیانگر مرحله گرم شدن (Warming) نمونه است.

در شکل ۱۱-الف، افت شدید پذیرفتاری مغناطیسی در دمای حدود ۵۸۰ درجه سانتی گراد معرف حضور مگنتیت در نمونه سنگی برداشت شده می باشد (در هر دو فرآیند گرم کردن و سرد کردن) و به دلیل اختلاف ناچیز دو منحنی، تغییرات شیمیایی خیلی ناچیز می باشد.



الف) کانی مغناطیسی بارز موجود در این نمونه مگنتیت و هماتیت می باشد.

شکل ۱۱. نمودارهای پذیرفتاری مغناطیسی در مقابل دما که محور افقی بر حسب درجه سانتی گراد و محور قائم بر حسب SI است (این مطالعه).



شکل ۱۲. نمودار پذیرفتاری مغناطیسی در مقابل دما (محور افقی بر حسب درجه سانتی‌گراد و محور عمودی بر حسب SI است). فرآیند گرم کردن نشانگر وجود مگنتیت و هماتیت در نمونه سنگی برداشت شده می‌باشد و همچنین در فرآیند سرد شدن، افزایش پذیرفتاری مغناطیسی در دمای ۵۸۰ درجه نشانگر حضور مگنتیت در بافت نمونه می‌باشد (این مطالعه).

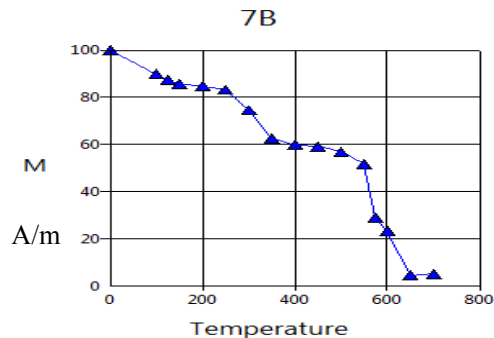
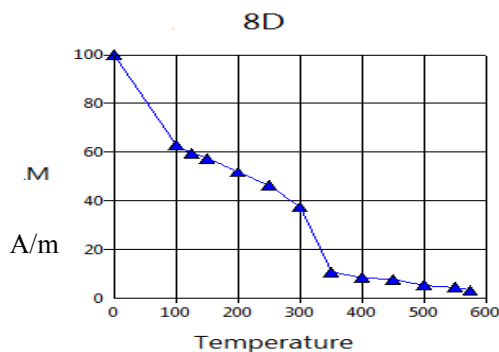
در این مطالعه نمونه‌ها را بعد از اشباع مغناطیسی (Magnetic Saturation)، در ۱۷ مرحله تا دمای ۷۰۰ درجه حرارت داده و بعد از هر مرحله، دوبار سرد کرده و پسماند مغناطیسی (Remanent Magnetisation) نمونه‌ها توسط دستگاه مغناطیس‌سنج چرخشی (Spinner Magnetometer) اندازه گرفته می‌شود. سپس منحنی مغناطیدگی بر حسب دما ترسیم شده است. با اطلاع از روند تغییرات شدت مغناطیدگی با دما می‌توان کانی‌های مغناطیسی نمونه‌ها، سختی و نرمی مغناطیسی آنها را تعیین کرد.

تغییرات حاصله در دماهای تقریباً ۱۲۰، ۳۸۰، ۵۸۰ و ۷۰۰ درجه سانتی‌گراد به ترتیب معرف حضور گوتیت (Gothite)، پیروتیت (Pyrrhotite)، مگنتیت و هماتیت در نمونه‌ها است (شکل ۱۳).

بنابر نتایج حاصل از آزمایش دمای کوری، کانی‌های مغناطیسی تشکیل‌دهنده نمونه‌ها، اکثراً مگنتیت و هماتیت و به مقدار ناچیز تیتانومگنتیت (به دلیل تغییرات شیمیایی انجام گرفته در فرآیند سرد شدن) می‌باشد.

۲-۵. تفسیر منحنی‌های مغناطیس‌زدایی حرارتی

در روش مغناطیس‌زدایی حرارتی از این اصل که مواد مختلف موجود در یک جسم دارای دماهای قفل‌شدگی (Blocking Temperature) و کوری مختلف هستند استفاده شده است. به این ترتیب با گرما دادن نمونه تا دمای مشخص و سپس سرد کردن نمونه در میدان مغناطیسی صفر می‌توان مغناطیدگی ناشی از موادی که دمای قفل‌شدگی آنها کمتر از حرارت اعمال شده است را از بین برد.



الف) کانی مغناطیسی بارز موجود در این نمونه گوتیت، پیروتیت، مگنتیت و ب) کانی‌های مغناطیسی بارز موجود در این نمونه گوتیت، پیروتیت و هماتیت می‌باشد.

شکل ۱۳. نمودارهای مغناطیدگی دو نمونه از سایت ۷ (الف) و سایت ۸ (ب) در مقابل دما که محور افقی بر حسب درجه سانتی‌گراد و محور عمودی بر حسب آمپر بر متر است (این مطالعه).

۶. تجهیزات به کار گرفته شده در این تحقیق

۱- دستگاه پذیرفتاری سنج مغناطیسی مدل MFK1-A ساخت شرکت آجیکو (Agico) (کشور جمهوری چک)، برای اندازه‌گیری پذیرفتاری مغناطیسی نمونه‌ها مورد استفاده قرار گرفته است. برای اندازه‌گیری دمای کوری کانی‌ها نیز از دستگاه CS-3 که از ملحقات MFK1-A می‌باشد، استفاده شد که در این دستگاه از نمونه‌های سنگی پودر شده استفاده می‌شود.

۲- دستگاه مغناطیس‌سنج چرخشی (Dual Speed Spinner Magnetometer) مدل JR-6A، یکی دیگر از دستگاه‌هایی که در این پروژه مورد استفاده قرار گرفته که برای اندازه‌گیری مغناطیس نمونه‌ها استفاده شد.

۳- دستگاه اشباع مغناطیسی همدم pulse magnetizer مدل MPM10 ساخت شرکت Measurement Magnetic (کشور انگلستان)، برای اندازه‌گیری پسماند مغناطیسی هم‌دمای نمونه‌ها یا همان (IRM Isothermal Remanente Magnetization) استفاده شد.

۴- دستگاه مغناطیس‌زدایی گرمایی (Thermal Demagnetizer) مدل MMTD80 ساخت شرکت Magnetic Measurement، که برای از بین بردن مغناطش نمونه‌ها توسط حرارت اعمال شده استفاده می‌شود.

۷. بحث و نتیجه‌گیری

۱- با توجه به بررسی‌ها و شواهد صحرائی، پتروگرافی، بررسی مقادیر ناهمسانگردی پذیرفتاری مغناطیسی (وضعیت خطواره‌ها و برگواره‌های مغناطیسی)، به نظر می‌رسد که توده نفوذی گلیپایگان در دو مرحله به سمت بالا صعود کرده است. مرحله اول شامل حاشیه‌های شمال، شمال شرق، جنوب، جنوب شرق و جنوب غرب توده است. مرحله دوم شامل حاشیه شمال غرب و قسمت‌های مرکزی توده می‌باشد. شکل احتمالی جای‌گیری توده گرانیتی گلیپایگان در هر دو مرحله قارچی شکل می‌باشد. جهت خط‌وارگی‌های مغناطیسی جنوب غرب توده، روند

شمال‌غرب- جنوب شرق دارند در حالی که حاشیه‌های شمال، شمال شرق، جنوب، جنوب شرق و جنوب غرب، روند شمال شرق- جنوب غرب دارند. در نتیجه جهت جای‌گیری توده در مرحله اول روند شمال‌غرب- جنوب شرق و شمال شرق- جنوب غرب می‌باشد. جهت‌های دو ایستگاه در شمال منطقه با موقعیت‌های ۵۰/۲۸۸ درجه طول جغرافیایی، ۳۳/۶۲۲ درجه عرض جغرافیایی و ۵۰/۲۹۲ درجه طول جغرافیایی، ۳۳/۶۲۱ درجه عرض جغرافیایی از روند کلی منطقه تبعیت نمی‌کنند. در مرحله دوم، توده در امتداد شمال غرب- جنوب شرق به‌داخل توده مرحله اول نفوذ کرده است. در این مرحله هم‌جهت دو ایستگاه به موقعیت‌های ۵۰/۲۸۷ درجه طول جغرافیایی، ۳۳/۶۱۸ درجه عرض جغرافیایی و ۵۰/۲۹۰ درجه طول جغرافیایی، ۳۳/۶۱۵ درجه عرض جغرافیایی از جهت‌های دیگر تبعیت نمی‌کنند. ۴ ایستگاه فوق در راستای هم قرار دارند. پس می‌توان به این نتیجه رسید که در این منطقه احتمالاً بعد از صعود ماگما به سمت بالا گسلش اتفاق افتاده و موجب تغییر جهت‌ها شده است. نتایج حاصل از بررسی مطالعات مقاطع نازک توده گلیپایگان نیز وجود گسل احتمالی در این منطقه را نشان می‌دهد. وجود زون دگر ریخت (Deformation zone) و گسل‌هایی با راستاهای مختلف در منطقه مورد مطالعه توسط محققین گزارش شده است. همچنین جای‌گیری توده آذرین در منطقه گلیپایگان در چند مرحله نیز توسط محققین مورد تأیید قرار گرفته است.

۲- نتایج حاصل از انجام آزمایش دمای کوری نشان می‌دهد که در حین گرم کردن تا دمای ۷۰۰ درجه سانتی‌گراد در حضور گاز آرگون، در دماهای حدوداً ۳۰۰ تا ۴۰۰ درجه سانتی‌گراد، در بافت نمونه‌ها تغییرات کریستالی رخ داده است و افت پذیرفتاری مغناطیسی از دمای ۵۸۰ تا ۷۰۰ درجه سانتی‌گراد نشانگر حضور کانی‌های مغناطیسی مگنتیت و هماتیت در بافت نمونه‌های توده گلیپایگان است. در طی فرآیند سرد شدن، منحنی‌ها نشان می‌دهند که کانی‌های مغناطیسی موجود اکثراً

تشکیل دهنده این توده گرانیتی عبارتند از: مسکویت، کانی رسی، سربیسیت، اکسید آهن، کلریت و لوکوکسن، همچنین کانی‌های کدر آپاتیت، زیرکن، تورمالین و اسفن از جمله کانی‌های فرعی این توده هستند.

۶- نتایج حاصل از بررسی مطالعات مقاطع صیقلی نمونه‌ها نشان می‌دهد که نوع کانی‌های آهنی موجود در بافت توده گرانیتوئیدی گلبایگان عبارتند از: روتیل و آناز و اکسیدهای و هیدروکسیدهای ثانویه آهن و ایلمنیت و هماتیت و پیروتیت.

تشکر و قدردانی

در پایان از معاونت محترم سازمان زمین‌شناسی، دکتر محمدرضا قاسمی و ریاست امور زمین‌شناسی منطقه‌ای سازمان زمین‌شناسی، دکتر جلیل قلمقاش، به خاطر فراهم نمودن امکان استفاده از آزمایشگاه محیط و دیرینه مغناطیسی، کمال تشکر و قدردانی را داریم. همچنین از زحمات و راهنمایی‌های دکتر محمود صادقیان، دکتر محمدرضا شیخ‌الاسلامی، مهندس جعفر صبوری، خانم مهندس فریده حلمی و مهندس صدیقه صحت و همکاری صمیمانه همکاران خانم مریم اسدی، آقای محمد پاک‌نیا و آقای مهدی صلابتی تشکر و قدردانی می‌نمایم.

مراجع

اطلس راههای ایران، ۱۳۸۹، موسسه جغرافیایی و کارتوگرافی گیتاشناسی.

شیخ‌السلامی، م.، ۱۳۸۴، نقشه زمین‌شناسی محلات، ۱/۱۰۰۰۰۰۰، انتشارات سازمان زمین‌شناسی کشور.

مگنتیت و تینانومگنتیت (Titanomagnetite) است. در واقع کانی هماتیت در فرآیند سرد شدن به کانی مغناطیسی دیگری تبدیل شده است. بنا به نتایج آزمایشات مغناطیسی و سنگ‌شناسی، می‌توان توده گلبایگان را از نوع A یا I معرفی کرد.

۳- نتایج حاصل از آزمایش مغناطیس‌زدایی گرمایی نشان می‌دهد که در اکثر نمونه‌ها، در سه دمای تقریبی ۱۲۰، ۳۳۰، ۵۸۰ درجه سانتی‌گراد افت مغناطیسی رخ داده است که اولی به دلیل وجود کانی مغناطیسی گوئیت و دومی وجود کانی مغناطیسی پیروتیت و سومین افت نشانگر وجود کانی مغناطیسی مگنتیت است. در بافت بعضی از نمونه‌ها، کانی مغناطیسی هماتیت هم وجود دارد. نتایج مغناطیس‌زدایی حرارتی اندازه‌گیری شده، بیانگر وجود کانی‌های مغناطیسی گوئیت، پیروتیت، مگنتیت، هماتیت در بافت توده گلبایگان است.

۴- داده‌های شدت ناهمسانگردی مغناطیسی نشان می‌دهد که در بخش غربی گسل محتمل در توده گلبایگان، شدت ناهمسانگردی مغناطیسی بیشتر از مناطق شرقی گسل است.

۵- نتایج حاصل از مطالعات مقاطع نازک نمونه‌ها نشان می‌دهد که نوع سنگ‌های تشکیل دهنده توده گرانیتوئیدی گلبایگان عبارتند از: گرانیت میلونیتی شده، گرانیت، مسکویت، گرانیت دانه‌ریز کمی تجزیه شده، گرانیت پورفیری کاتاکلازیتی یا میلونیتی، گرانیت دو میکا آهن‌دار شده، گرانیت پورفیری کمی تکتونیزه، گرانیت تورمالین‌دار و گرانیت پورفیری کمی تجزیه شده است. بافت این سنگ‌ها پورفیری، هتروگرانوار یا میکروگرانولار، پرتیتی، گرافیکی، گرانولار و کاتاکلاستیک با زمینه ساروجی است. کانی‌های ثانویه

Balsley, J. R. and Buddington, A. F., 1960, Magnetic susceptibility anisotropy and fabric of some Adirondack granites and orthogneiss, American Journal of Science, 258-A, 6-20.

Bouchez, J. L., 1997, Granite is never isotropic: an introduction to AMS studies of granitic rocks, In J. L. Bouchez, D.

Edgardo, C. T., Irene, M. and Rapsso, B., 2017, Anisotropy of magnetic susceptibility of silicic rocks from quarries in the vicinity of

Guimaraes, L. F., Raposo, M.I.B., Janasi, V. A., Canon-Tapia, E. and Polo, L. A., 2018, An AMS study of different silicic units from southern Parana- Etendeks magmatic province in Brazil: Implications for the identification of flow directions and local sources, Journal of volcanology and geothermal research, Vol.355, 304-318.

Gregoire, V., de Saint- Blanquat, M., Nedelec, A. and Bouchez, J. L., 1995, Shape anisotropy

- versus magnetic interactions of magnetite grains: experiments and application to AMS in granitic rocks, *Geophys. Res. Letters*, 22, 2765-2768.
- Hargraves, R. B., Johnson, D. and Chan, C. Y., 1991, Distribution anisotropy: the cause of AMS in igneous rocks, *Geophys. Res. Lett.*, 18, 2193-2196.
- Horuda, F., 1982, Magnetic anisotropy of rocks and its application in geology and geophysics, *Geophys. Surveys* 5, 37-82.
- Jelink, V., 1981, Characterization of the magnetic fabrics of rocks, *Tectonophysics*, 79, 63-67.
- Karimi, S. M., Tabatabaei Manesh, H., Safaei, H., and Sharifi, M., 2012, Metamorphism and deformation of golpayegan metapelitic rocks, Sanandaj-Sirjan Zone, Iran, *Petrology*, Vol.20, No.7, 658-675.
- Khan, M. A., 1962, The Anisotropy of magnetic susceptibility of some igneous and metamorphic rocks, *J. Geophys. Res.*, 67, 2873-85.
- Lanza, R. and Meloni, A., 2006, *The earth magnetism: An Introduction for geologists*, Springer.
- Merrill, R. T., MacElhinny, M. W., Macfadden, P. L., 1996, *The Magnetic Field of the Earth*, Academic Press.
- Mollier, B. and Bouchez, J. L., 1982, Structuration magmatique du complexe granitique de Brame-St Sylvestre-St Goussaud Limousin, Massif Central francais). *C. R. Acad. Sci. Paris* 294II, 1329-1334.
- Nagata, T., 1961, *Rock magnetism*, Maruzen, Tokyo, 350.
- Rashidnejad, Omran N., Emami, M. H., Sbzehi, M., Rastad, E., Bellon, H. and Pique, A., 2002, Lithostratigraphie et historie paleozoiques a Paleocene des complexes metamorphiques de la reyon de muteh, Zone de Sanandaj-Sirjan (Iran mezidiornal), *G.R.Geoscience*, 334, 1184-1191.
- Sadeghian, M., Bouchez, J. L., Ne'de'lecb, A., Siqueirab, R. and Valizadeha, R., 2005, The Granite Plution of Zahedan: a petrological and magnetic fabric study, *Journal of Asian Sciences*, 25, 301-277.
- Skytta, P., Hermansson, T., Elming, S. A. and Bauer, T., 2010, Magnetic fabrics as constrains on the kinematic history of a Pre-tectonic granitoid intrusion, Kritineberg, northern Sweden, *Journal of Structural Geology*, 32, 1125-1136.
- Stephenson, A., 1994, Distribution Anisotropy: two simple models for magnetic lineation and foliation, *J.Phys. Earth Planet. Inter.*, 82, 49-53.
- Tarling, D. H. and Hrouda, F., 1993, *The magnetic Anisotropy of rocks*, Chapman & Hall, London.

Investigation of replacement and flow direction of granitic body at Golpaygan region using anisotropy of magnetic susceptibility (AMS)

Mirzaei Hajibaghloo, S.¹, Alimohammadian, H.² and Oveysy Moakhar, M.^{3*}

1. M.Sc. Graduated, Department of Geophysics, Research and Science Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

2. Ph.D. in Geophysics, Geological Survey & Mineral Exploration of Iran, Tehran, Iran

3. Assistant Professor, Department of Physics, Razi University, Kermanshah, Iran

(Received: 17 Jan 2018, Accepted: 1 Jan 2019)

Summary

The Golpaygan massive granite in the northern part of Golpaygan city is a part of Sanandaj – Sirjan zone. This granitic body has been intruded in surrounding metamorphosed schists of Paleozoic age. The Paleocene age (58 Ma) with K/Ar method has been assigned for this granite. Basalts, Porphyritic tuffs and Cataclastics volcanic rocks are the main rocks of this formation. The major minerals of the granite are Quartz, acidic to intermediate plagioclase (oligoclase, andesite) and orthoclases which occasionally show perthitic texture. The micaceous minerals include biotite, muscovite and sericite. In order to study AMS of Golpayegan granite, 171 cores with 10 cm length and 2.5 cm diameter were collected with drilling portable machine. The dip and azimuth of the cores were measured with magnetic compass. Each core was cut to 22 mm length in the paleomagnetic laboratory of geological survey of Iran. Bulk samples were also collected in order to examine rocks petrologically and mineralogically. The polished thin sections show the following metallic minerals: Rutile and Anatase, Oxides and oxyhydroxides, Hematite, Pyrite and Ilmenite. Anisotropy of magnetic susceptibility (AMS) is defined as a second order tensor. Due to symmetry of nondiagonal components, only diagonal ones K_{33} , K_{22} , K_{11} remain which are named as K_{max} , K_{min} and K_{int} . Lineation intensity values show alignment of magnetic dipole moments of the specimens. This parameter is maximum for sites 8, 12 and 17. The dip and direction of lineation parameter of the above sites are 261.5/44, 38.2/79 and 22/17 respectively. The dip value of site 12, i.e. 79, may indicate place of the source of Golpayegan granite. The direction of lineation in sites 17 and 8 are opposite to each other which may indicate the existence of a fault in this area. The map of foliation parameter shows that in the central part of the study area, the dip of foliation has much more value than the surrounding area. The shape factor values are negative in the north east and center of the granite body which indicate prolate shape of magnetic susceptibility ellipsoid while in the other parts it is positive which means it is oblate. The AMS results also reveal that the study area can be divided in to two parts which have separate convergence directions. The diffusion directions may indicate mushroom type of the granite intrusion at two phases. The main mushroom type granitic body has intruded at the first phase and then in the second phase, another granitic body with the same pattern is injected into the main body. The AMS directions of the granite show northwest- southeast and northeast- southwest trends while at the center, they show on east-west trend. On the basis of the interpretation of total granitic body directions, we propose the existing of a probable fault with north-south trend at the center of the granite. The intensity of anisotropy of magnetic susceptibility at the western side of this fault is high in comparison to that of the eastern side. The occurrence of this fault can also be proved by petrological investigation and other studies. The susceptibility-temperature analysis of the granite rocks shows that magnetite and hematite are the main magnetic carriers which may indicate I or A type origin of this massive granite.

Keywords: AMS, Granite, Lineation, fault.

* Corresponding author:

moveisy9@gmail.com