

شناخت سازوکار جایگیری توده گرانیتوییدی ظفرقند (جنوب خاوری اردستان) به روش ناهمگنی پذیرفتاری مغناطیسی (AMS)

محمود صادقیان^{۱*}، نگار گوانجی^۱، حبیب الله قاسمی^۱ و رمضان رضانی اومالی^۲

^۱ گروه پتروولوژی و زمین شناسی اقتصادی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران
^۲ گروه زمین شناسی کاربردی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران

چکیده

توده گرانیتوییدی ظفرقند با گستره ترکیبی گابرو تا گرانیت و سن اوایل تا اواسط میوسن در ۳۵ کیلومتری جنوب خاوری اردستان رخنمون دارد. این توده نفوذی درون سنگ‌های آتشفشانی و آتشفشانی-رسوبی ائوسن در پهنه ساختاری ارومیه-دختر جایگزین شده است. در این پژوهش، سازوکار جایگیری توده گرانیتوییدی ظفرقند به روش ناهمگنی پذیرفتاری مغناطیسی برای نخستین بار بررسی شد. برپایه بررسی‌های صحرایی، سنگ‌نگاری، تجزیه و تحلیل پارامترهای مغناطیسی اندازه‌گیری شده، توده نفوذی ظفرقند به ۵ قلمرو تقسیم شده است. قلمروهای ۲ و ۴ گابرویی تا کوارتز دیوریتی و قلمروهای ۱، ۳ و ۵ گرانودیوریتی تا گرانیتی هستند. برپایه همه شواهد، به‌ویژه شواهدی از آمیزش ماگمایی در مناطق مرزی قلمروهای دارای ترکیبات بازیک-حد واسط (گابرو تا کوارتز دیوریت) و قلمروهای دارای ترکیب‌های فلسیک‌تر (گرانودیوریت، گرانیت و تونالیت)، به نظر می‌رسد قلمروهای ۲ و ۴ منطقه‌های تغذیه‌کننده بوده‌اند. همچنین، نخست این قلمروها جایگزین شده‌اند و سپس در قلمروهای ۱، ۳ و ۵، جریان‌های ماگمایی کم شیب بزرگ (یا چه‌بسا به صورت یک سیل) جایگزین شده‌اند. قلمرو ۱ خود دارای دو زیرقلمرو ۱A و ۱B است. گفتنی است که در هنگام جایگیری این توده نفوذی، فرایندهای جدایش بلورین، آمیزش ماگمایی و آرایش پوسته‌ای در پیدایش و تحول آن سهیم بوده‌اند.
واژه‌های کلیدی: ناهمگنی پذیرفتاری مغناطیسی، مناطق تغذیه‌کننده، سیل، ظفرقند، پهنه ساختاری ارومیه-دختر

مقدمه

سنگ‌شناسان هستند؛ اما بررسی سازوکار جایگیری توده‌های نفوذی، به‌ویژه گرانیتوییدها، از مسائل مهمی است که به آن کمتر توجه شده است. در گذشته، برای شناسایی چگونگی جایگیری توده‌های گرانیتوییدی از

سنگ‌نگاری، زمین‌شیمی، سنگ‌شناسی و سنگ‌زایی (پتروژنز) توده‌های گرانیتوییدی معمولاً کانون توجه بسیاری از پژوهشگران زمین‌شناس، به‌ویژه

* sadeghian@shahroodut.ac.ir

Copyright©2017, University of Isfahan. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0>), which permits others to download this work and share it with others as long as they credit it, but they cannot change it in any way or use it commercially.

علیمحمدیان و پشتیبانی همه‌جانبه معاونت محترم سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، دکتر جلیل قلمقاش) در زمینه کاربرد روش AMS در شناخت سازوکار جایگیری توده‌های نفوذی و چگونگی توزیع مذاب در دایک‌ها، بررسی‌های فراوانی انجام شده و مقالاتی در همایش‌های علمی و یا مجلات علمی پژوهشی معتبر چاپ و منتشر شده است که برخی از آنها عبارتند از: Gavanji و همکاران (۲۰۰۹)، Baddlou و همکاران (۲۰۱۰)، Mardani و همکاران (۲۰۱۰)، Sadat Razavi و همکاران (۲۰۱۰)، Shekari و همکاران (۲۰۱۲)، Sadeghian و همکاران (۲۰۱۳)، Sadeghian و همکاران (۲۰۱۳)، Shekari و همکاران (۲۰۱۳)، Chekani و همکاران (۲۰۱۳)، Hamidi و همکاران (۲۰۱۳)، Mirzaei Suzani و همکاران (۲۰۱۳)، Saki و همکاران (۲۰۱۴)، Sheibi و Majidi (۲۰۱۴)، Aslani و همکاران (۲۰۱۵)، Shekari و Aslani (۲۰۱۵)، Saki و همکاران (۲۰۱۵)، Sheibi و Moghadam و Pooralizadeh (۲۰۱۵) و Sheibi و همکاران (۲۰۱۶).

اکنون، این روش از شناخت سازوکار جایگیری گرانیتوئیدها فراتر رفته و برای شناخت تحولات سنگ‌شناسی سنگ‌های دگرگونی گام برداشته است (Mohammadi *et al.*, 2015).

این دانش نوپا در ایران نیازمند توجه بیشتر و پشتیبانی‌های مادی و معنوی است تا بتواند در جایگاه بین‌المللی سخن نو و قابل اعتمادی برای ارائه داشته باشد. این علم از شاخه‌های نوین زمین‌شناسی است و در پیشرفته‌ترین کشورها نیز از ورود جدی و تأثیرگذار آن به دنیای زمین‌شناسی بیش از سه دهه نمی‌گذرد. امید است این نهال نوپا در گذر روزگاران حفاظت شود و چراغ عمر آن رو به خاموشی گرایش پیدا نکند.

ویژگی‌هایی استفاده می‌شد که در مقیاس ماکروسکوپی و میکروسکوپی آنها را می‌توان دید؛ مانند: برگوارگی و خطوارگی حاصل از آرایش‌یافتن کانی‌های سازنده سنگ‌ها یا همان پتروفابریک. این روش همچنان متداول است؛ اما درباره توده‌هایی که از دیدگاه ساخت و بافت بسیار همگن باشند کارایی کمتری دارد.

امروزه، افزون‌بر روش‌های سنتی معمول (پتروفابریک)، برای شناخت سازوکار جایگیری توده‌های نفوذی، از روش بررسی ناهمگنی پذیرفتاری مغناطیسی (Anisotropy of Magnetic Susceptibility) بهره گرفته می‌شود که به نام روش AMS یا فابریک‌های مغناطیسی شناخته می‌شود. روش AMS از روش‌های پژوهشی نوینی است که بر پایه اندازه‌گیری پارامترهای مغناطیسی یا تحلیل فابریک‌های مغناطیسی نمونه‌های سنگی استوار است (Tarling and Hrouda, 1993). امروزه این روش در شناسایی سازوکار جایگیری توده‌های نفوذی (به‌ویژه گرانیتوئیدها) جایگاه ویژه‌ای دارد و کاربرد آن بیش از پیش افزایش یافته است. با فراهم شدن امکانات به‌کارگیری این روش در ایران از سال ۱۳۸۸، دریچه نوینی به روی پژوهش‌های سنگ‌شناسی، زمین‌شناسی ساختمانی و نیز شاخه‌های دیگر علوم زمین باز شده است. از این‌رو، این روش در شناخت سازوکار تفصیلی جایگیری توده گرانیتوئیدی ظفرقند به‌کار گرفته شده و نتایج به‌دست‌آمده در این بررسی آورده شده است.

این بررسی اولین پژوهش با بهره‌گیری از روش AMS است که در ایران و با امکانات کاملاً درون‌کشوری و بدون نیاز به آزمایشگاه‌های خارجی انجام شده است. از این‌رو، نماد توانایی و خوداتکایی زمین‌شناسان جوان ایران عزیز است و اهمیت بسیاری دارد. پس از این پژوهش و همگام با آزمایشگاه محیط و دیرینه‌مغناطیس (به سرپرستی دکتر حبیب

چندان آشکار نیست. با وجود این، شیشه‌زدایی (devitrification) و پیدایش فلدسپارهای نوظهور (در شمال روستای ماربین)، اپیدوت‌زایی گسترده در سنگ‌های ایگنیمبریتی (با ترکیب کلی داسیتی در باختر تقی‌آباد) و پیدایش رگه‌هایی از گارنت‌های کلسیم‌دار (نوع آندرادیت-گروسولار) در سنگ‌های میزبان (جنوب مزرعه لامحمود) از ویژگی‌های روشن رویداد دگرگونی مجاورتی است.

توده گرانیتوئیدی ظفرقند دارای گستره ترکیبی گابروی الیوین‌دار، گابرو، دیوریت، کوارتز دیوریت، مونزونیت، گرانودیوریت، گرانیت و تونالیت است (شکل ۱). حضور گسترده انکلاوهای میکروگرانولار مافیک و دایک‌های سین‌پلوتونیک گسیخته‌شده، شواهد روشنی از رخداد آمیزش ماگمایی در این توده نفوذی هستند. دایک‌های قبل، همزمان تا پس از نفوذ و جایگیری ترکیب بیشتر آندزیتی دارند و با توده گرانیتوئیدی ظفرقند و سنگ‌های میزبان آن همراه هستند. دایک‌ها بیشتر دارای راستای شمال‌باختری-جنوب‌خاوری هستند. انکلاوهای میکروگرانولار مافیک در سراسر بخش فلسیک دیده می‌شوند؛ اما در مرز میان بخش‌های فلسیک و مافیک، به‌ویژه جنوب روستای متروکه و مخروطه برگرهر (در بخش شمال باختری توده گرانیتوئیدی ظفرقند)، از فراوانی بیشتری برخوردار هستند.

بررسی‌های صحرایی، زمین‌شیمیایی و سنگ‌نگاری نشان‌دهنده عملکرد و مشارکت فرایندهای جدایش بلورین، آمیزش ماگمایی و آرایش پوسته‌ای در هنگام پیدایش و تحول توده گرانیتوئیدی ظفرقند هستند. این توده گرانیتوئیدی از نوع I و دارای ماهیت کالک‌آلکان و متالومین است. با توجه به نمودارهای شناسایی پهنه‌های زمین‌ساختی، توده گرانیتوئیدی یادشده

زمین‌شناسی و سنگ‌شناسی توده گرانیتوئیدی ظفرقند

توده گرانیتوئیدی ظفرقند به سن اوایل تا اواسط میوسن (Amidi, 1975) و گستره ترکیبی گابرو تا گرانیت در ۳۵ کیلومتری جنوب‌خاوری اردستان و در پهنه ساختاری ارومیه-دختر رخنمون دارد. این توده نفوذی با روند کلی شمال‌باختری-جنوب‌خاوری در درون سنگ‌های آتشفشانی و آتشفشانی‌رسوبی ائوسن تزریق شده است. با توجه به بررسی‌های صحرایی و میکروسکوپی، می‌توان ترکیب سنگ‌شناسی این توده را در ۶ گروه یا واحد سنگی رده‌بندی کرد:

- (۱) دایک‌های آندزیتی نسل اول؛
- (۲) گابرو-گابرو دیوریت؛
- (۳) دیوریت-کوارتز دیوریت؛
- (۴) انکلاوهای میکروگرانولار مافیک؛
- (۵) گرانودیوریت-گرانیت-تونالیت؛
- (۶) دایک‌های آندزیتی نسل دوم (سین‌پلوتونیک).

در کنار دسته‌بندی این سنگ‌ها در شش رده یادشده، می‌توان همزمان ترتیب جایگزینی واحدهای سنگی و ترکیب سنگ‌شناسی آنها را برپایه بررسی‌های صحرایی در رده‌بندی دیگری نشان داد:

- (۱) دایک‌های آندزیتی پیش‌رس یا نسل اول؛
- (۲) سنگ‌های مافیک-حد واسط (گابرو تا کوارتز دیوریت و سنگ‌های جدایش یافته از آنها)؛
- (۳) سنگ‌های فلسیک (گرانودیوریت-گرانیت-تونالیت و سنگ‌های جدایش یافته از آنها)؛
- (۴) دایک‌های آندزیتی سین‌پلوتونیک یا نسل دوم.

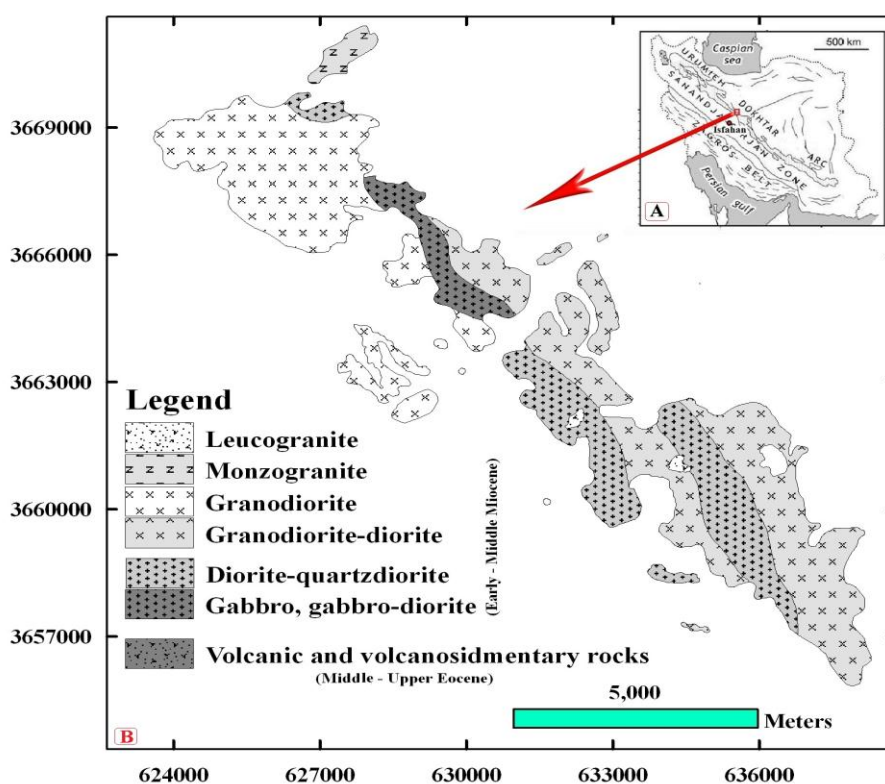
جایگزینی توده گرانیتوئیدی ظفرقند با دگرگونی مجاورتی کم وسعتی همراه بوده است. با توجه به ترکیب آندزیتی-داسیتی سنگ‌های میزبان، نشانه‌های دگرگونی مجاورتی در آنها

صفحه فروروی اقیانوسی نئوتتیس (و رسوب‌های همراه آن) پدید آمده است. این صفحه فرورو تا رخساره آمفیبولیت دگرگون شده است. جایگزینی توده‌های آذرین مافیک- حد واسط در بخش زیرین پوسته قاره‌ای با رخداد ذوب پوسته قاره‌ای، پیدایش مذاب‌های فلسیک و آمیزش ماگمایی همراه بوده است (Ghafari, 2010; Sadeghian and Ghaffary, 2011).

از نوع VAG و CAG است و در پهنه حاشیه فعال قاره‌ای جای گرفته است.

برپایه بررسی‌های صحرایی و جایگاه زمین‌شناسی منطقه جنوب‌خاوری ظفرقند، می‌توان گفت که توده گرانیتویدی ظفرقند پیامد فعالیت‌های ماگمایی وابسته به فرورانش صفحه اقیانوسی نئوتتیس به زیر صفحه قاره‌ای ایران مرکزی است. ماگمای سازنده این توده از ذوب

Geological map of Zafarghand granitoidic pluton



شکل ۱- A) جایگاه منطقه جنوب‌خاوری ظفرقند (جنوب‌خاوری اردستان، استان اصفهان) روی نقشه پهنه‌های ساختاری ایران (Alavi, 1994)؛ B) نقشه زمین‌شناسی اصلاح‌شده بر پایه نقشه‌های زمین‌شناسی منتشر شده پیشین، تصویرهای ماهواره‌ای، بررسی‌های سنگ‌شناسی، بررسی فابریک‌های مغناطیسی و با در نظر گرفتن همه نکته‌های زمین‌شناسی (Gavanji, 2010).

بلورین و افزایش فراوانی هورنبلند سبز و کوارتز، ترکیب ماگمای سازنده این سنگ‌ها به سوی پیدایش دیوریت و کوارتزدیوریت تغییر پیدا کرده است.

دیوریت‌ها- کوارتزدیوریت‌ها دارای بافت گرانولار شکل دار تا نیمه‌شکل دار هستند. پلاژیوکلاز، هورنبلند سبز و به اندازه کمتر اوژیت، کانی‌های اصلی دیوریت‌ها

سنگ‌نگاری

گابروها و گابرودیوریت‌ها دارای بافت گرانولار، افیتیک و ساب‌افیتیک هستند. پلاژیوکلاز، اوژیت، هورنبلند سبز از کانی‌های اصلی این سنگ‌ها هستند و الیوین، بیوتیت، اسفن، کوارتز، آپاتیت و مگنتیت از کانی‌های فرعی آنها به‌شمار می‌آیند. با ادامه جدایش

اردستان (Radfar, 1998)، تصویرهای ماهواره‌ای و گوناگونی سنگ‌شناسی توده گرانیتویدی ظفرقند (تقریباً به‌ازای هر یک تا دو کیلومتر مربع در یک ایستگاه) مغزه‌گیری انجام شد. هر جا ترکیبات سنگی متفاوتی در پیرامون ایستگاه نمونه‌برداری رخنمون داشتند، فراوانی مغزه‌ها برپایه تنوع سنگ‌شناسی افزایش یافت (دست‌کم دو مغزه به‌ازای هر ترکیب سنگ‌شناسی). مغزه‌گیری در ۱۲۳ ایستگاه (۲۹۴ عدد مغزه) با دستگاه مغزه‌گیر قابل حمل انجام شد. قواعد و اصول برداشت و ثبت ویژگی‌های مغزه‌ها برپایه روش‌های متداول انجام شد (برای آشنایی بیشتر Gavanj (۲۰۱۰) بررسی شود). سپس، مغزه‌های برداشت‌شده برای اندازه‌گیری پارامترهای مغناطیسی با دستگاه کاپابریج سنجش میزان پذیرفتاری مغناطیسی (مدل MFK1-FA) آماده شدند. برای این منظور، مغزه‌های به‌دست‌آمده به تکه‌هایی به ارتفاع ۲۲ میلی‌متر برش داده شدند. در مجموع ۱۰۰۸ قطعه مغزه به‌دست آمد. همچنین، مختصات جغرافیایی هر ایستگاه ثبت شد و در پایان در تهیه نقشه پراکنندگی ایستگاه‌های مغزه‌گیری به‌کار برده شدند. در شکل‌های ۲-A و ۲-B جایگاه برداشت مغزه‌ها، همراه با ترکیب سنگ‌شناسی آنها در هر ایستگاه نشان داده شده است.

ویژگی‌های سنگ‌شناسی در هر ایستگاه با دقت بررسی شد. سپس برپایه بررسی‌های سنگ‌نگاری و داده‌های تجزیه‌های شیمیایی به‌دست‌آمده از برخی نمونه‌های سنگی برگزیده (Ghaffari, 2010)، نقشه زمین‌شناسی توده گرانیتویدی ظفرقند اصلاح شد (شکل ۱-B). همچنین، نزدیک به ۳۰۰ مقطع نازک و ۱۰ مقطع صیقلی از نمونه‌های سنگی گوناگون آماده شد. مقطع‌های نازک برای شناخت کانی‌ها و ریزساخت‌ها (ساخت‌های میکروسکوپی) به‌کار برده شدند. در بررسی فابریک‌های مغناطیسی و شناخت چگونگی جایگیری توده‌های نفوذی، بررسی ریزساخت‌ها جایگاه ویژه‌ای دارد.

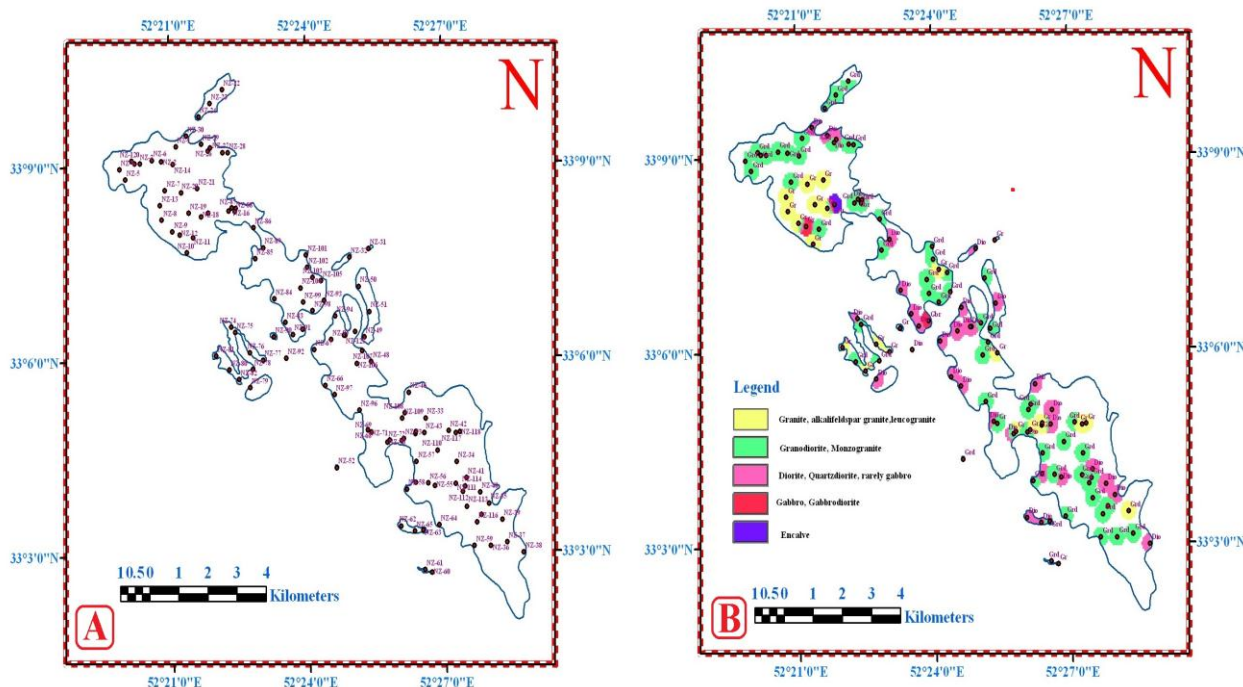
و کوارتز دیوریت‌ها هستند. بیوتیت، کوارتز، اسفن، مگنتیت و آپاتیت کانی‌های فرعی این سنگ‌ها هستند. برپایه داده‌های تجزیه ریزکوالکترونی (مایکروپروب)، آمفیبول‌ها در سنگ‌های گرانودیوریتی سازنده توده گرانیتویدی ظفرقند از نوع هورنبلند معمولی یا ادنیت‌منیزیم‌دار هستند (Latifi, 2000). با افزایش جدایش بلورین در ماگما و افزایش فراوانی کوارتز، دیوریت‌ها به کوارتز دیوریت تغییر پیدا کرده‌اند.

از دیدگاه کانی‌شناسی، انکلاوهای میکروگرانولار مافییک همانند دیوریت‌ها و کوارتز دیوریت‌ها هستند و بیشتر از پلاژیوکلاز، هورنبلند سبز و به‌ندرت کوارتز ساخته شده‌اند. آپاتیت، مگنتیت و اسفن از کانی‌های فرعی شناخته‌شده در انکلاوها هستند. هنگام جایگیری انکلاوها در ماگمای فلسیک، سیال‌های غنی از پتاسیم و آب جدا شده از ماگمای فلسیک برخی از این کانی‌های فرعی را پدید آورده‌اند. همچنین، کلریت‌زایی، اپیدوت‌زایی و بیوتیت‌زایی چشمگیری در این سنگ‌ها روی داده است.

گرانودیوریت‌ها، گرانیت‌ها و تونالیت‌ها دارای بافت گرانولار و گرافییک هستند. کوارتز، پلاژیوکلاز، ارتوکلاز و هورنبلند سبز از کانی‌های اصلی آنها هستند و اسفن، آپاتیت و کانی‌های کدر از کانی‌های فرعی این سنگ‌ها به‌شمار می‌آیند. گفتنی است که در برابر سنگ‌های فلسیک دیگر، تونالیت‌ها با دارا بودن مقدار چشمگیری Na_2O به‌روشنی سدیک‌تر هستند. از این‌رو، منطقی به‌نظر می‌رسد که پلاژیوکلازهای سدیک (مانند: آلبیت و الیگوکلاز) در آنها دیده شود. تونالیت‌ها به‌ندرت کانی مافییک دارند.

روش انجام پژوهش

نخست، برپایه نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ کاشان (Zahedi and Amidi, 1975) و ۱:۱۰۰۰۰۰



شکل ۲- (A) نقشه پراکندگی ایستگاه‌های مغزه‌گیری در توده گرانیتوبیدی ظفرقند (جنوب‌خاوری اردستان)؛ (B) نقشه پراکندگی نمونه‌برداری‌ها همراه با نوع ترکیب سنگ‌ها در هر ایستگاه.

در آزمایشگاه ژئومغناطیس دانشکده علوم زمین دانشگاه صنعتی شاهرود، پارامترهای مغناطیسی نمونه‌های آماده‌سازی شده با دستگاه کاپابریج سنجش میزان پذیرفتاری مغناطیسی (مدل MFK1-FA، ساخت شرکت AGICO، کشور جمهوری چک) اندازه‌گیری شدند. این دستگاه پذیرفتاری مغناطیسی را با دقت 10- SI اندازه‌گیری می‌کند. آشنایی با چگونگی کار با این دستگاه در پژوهش‌های Ghalamghash (۲۰۰۲)، Gavanji (۲۰۰۹)، Sheibi (۲۰۰۴)، Sadeghian (۲۰۰۴)، Shekari (۲۰۱۲) و Badallo (۲۰۱۲) آورده شده است.

با به‌کارگیری این دستگاه، حاصل نسبت میان میزان مغناطیس‌شدگی ایجادشده در نمونه (M) و نیز شدت میدان مغناطیسی القاءشده بر آن (H) یا (M/H)، بررسی شده و به‌صورت پارامتر K یا ضریب پذیرفتاری مغناطیسی اندازه‌گیری می‌شود.

پارامتر $K = M/H$ بی‌بعد (dimension) است؛ اما در اندازه‌گیری‌ها برپایه μSI (SI= Standard International) آورده می‌شود. K مهم‌ترین پارامتر در سنجش فابریک‌های مغناطیسی به‌شمار می‌آید و هم مفهوم عددی و هم بُرداری دارد. مفهوم عددی آن بی‌جهت است و با میزان توانایی مغناطیس‌شدگی بخش‌های سازنده سنگ‌ها وابستگی مستقیم دارد. مقادارهای بُرداری K به‌صورت K_1 ، K_2 و K_3 آورده می‌شوند و دارای جهت (آزیموت) و میل (پلانچ) هستند. از این‌رو، می‌توان تغییرات K را در یک فضای سه‌بعدی به‌صورت یک بیضوی مغناطیسی نشان داد.

مقدار مطلق یا عددی K را می‌توان در راستای محورهای K_1 ، K_2 و K_3 نیز اندازه‌گیری کرد (به‌ترتیب K_{\max} ، K_{int} و K_{\min}). مقدار K، مبنای اندازه‌گیری برخی پارامترهای مغناطیسی، مانند

K_m برپایه (μ_{SI}) در گروه‌های سنگی گوناگون سازنده توده گرانیتویدی ظفرقند عبارتند از: ۳۲۵۳۶ در گابروها، ۲۳۷۶۸ در دیوریت‌ها، ۱۸۴۳۶ در گرانودیوریت‌ها، ۸۰۶۷ در گرانیت‌ها و ۶۸ در تونالیت‌ها. بدین ترتیب گابروها دارای بیشترین و تونالیت‌ها دارای کمترین مقدارهای پذیرفتاری مغناطیسی هستند. تغییرات مقدارهای K_m در مقاله‌های Sadeghian و همکاران (۲۰۱۴)، با نام «بررسی تغییرات ناهمگنی پذیرفتاری مغناطیسی در توده گرانیتویدی ظفرقند (جنوب‌خاوری اردستان)» آورده و گزارش شده است. برای جلوگیری دوباره کاری و افزایش حجم نوشتاری مقاله، در اینجا از تشریح مفصل آنها چشم‌پوشی می‌شود. گفتنی است که گرانودیوریت فراوان‌ترین سازنده توده گرانیتویدی ظفرقند است و پس از آن دیوریت و گرانیت در مرتبه بعدی اهمیت هستند. گروه‌های سنگی دیگر فراوانی بسیار کمی دارند. برپایه بررسی‌های صحرائی، بررسی مقاطع نازک و بررسی تغییر مقدارهای K_m در گستره توده گرانیتویدی ظفرقند، نقشه زمین‌شناسی این توده نفوذی اصلاح شد و نقشه‌ای جدید و دقیق‌تر برای آن ترسیم شد (به شکل ۱-B نگاه کنید). نقشه یادشده در هنگام نمایش و تحلیل پارامترها و فابریک‌های مغناطیسی به‌عنوان نقشه پایه استفاده شده است. برای درک بهتر تغییرات مقدار میانگین پذیرفتاری مغناطیسی (K_m)، در شکل ۳ مقدارهای این پارامتر در سطح رخنمون توده گرانیتویدی ظفرقند به‌صورت نقشه کنتربندی (با گستره‌ای از تغییرات رنگ‌ها از آبی تا سرخ) نشان داده شده است.

K_m (میانگین پذیرفتاری مغناطیسی)، P (انیزوتروپی مغناطیسی) و T (پارامتر شکل) است. مقدارهای K_m برای هر ایستگاه برپایه رابطه زیر به‌دست می‌آید:

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

انیزوتروپی مغناطیسی (P) برپایه رابطه $P=K_1/K_3$ به‌دست می‌آید. پارامتر شکل یا T نیز بر پایه تغییرات مقدارهای پذیرفتاری مغناطیسی در راستای محورهای K_1 ، K_2 و K_3 و رابطه زیر به‌دست می‌آید:

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

مقدار T از +۱ تا -۱ است. مختصات جغرافیایی، مقدارهای آزیموت و میل K_1 و K_3 ، ویژگی‌های برگوارگی‌های مغناطیسی در جدول ۱ آورده شده‌اند. بزرگ‌ترین بردار بیضوی مغناطیسی (K_1 یا K_{max}) با خطوارگی مغناطیسی و کوچک‌ترین بردار آن (K_3) یا K_{min} با قطب برگوارگی مغناطیسی متناسب است (Hrouda and Tarling, 1993).

بررسی ناهمگنی پذیرفتاری مغناطیسی (AMS)

انجام روش بررسی فابریک‌های مغناطیسی (Anisotropy of Magnetic Susceptibility یا AMS) همزمان با بررسی ساخت‌های میکروسکوپی (ریزساخت‌ها) و ماکروسکوپی، روشی کم‌هزینه، توانمند، سریع، قابل‌اعتماد و کارآمد در شناسایی سازوکار جایگیری توده‌های نفوذی به‌ویژه گرانیتویدهاست.

پذیرفتاری مغناطیسی میانگین (K_m)

مقدار میانگین پذیرفتاری مغناطیسی میانگین

جدول ۱- مختصات جغرافیایی ایستگاه‌های مغزه‌گیری و مقدار پارامترهای مغناطیسی یا پارامترهای به‌دست‌آمده بر پایه آنها برای توده گرانیتوئیدی ظفرقند (جنوب‌خاوری اردستان) (X: طول جغرافیایی بر پایه UTM؛ Y: عرض جغرافیایی بر پایه UTM؛ Lithology: ترکیب سنگ‌شناسی؛ Grd: گرانودیوریت؛ Gr: گرانیت؛ En: انکلاو؛ Dio: دیوریت؛ Ton: تونالیت؛ Dk-Ap: دایک آپلیتی؛ K_m : پذیرفتاری مغناطیسی میانگین (بر پایه μ_{SI})؛ $K_1(d/i)$: آزیموت یا روند (declination) و میل (inclination) برای بزرگ‌ترین محور بیضوی مغناطیسی؛ $K_3(d/i)$: آزیموت و میل برای کوچک‌ترین محور بیضوی مغناطیسی (یا آزیموت و میل قطب بر گواره مغناطیسی)؛ F(strike/dip): راستا و شیب برگواره مغناطیسی بر پایه درجه (F= Foliation)؛ P: ان‌ایزوتروپی یا ناهمگنی مغناطیسی؛ T: پارامتر شکل)

Site No.	X	Y	Lithology	$K_m(\mu_{SI})$	$K_1(d/i)$	$K_3(d/i)$	F(strike/dip)	P	T
NZ-1	626103	3669311	Grd	7411	291/14	126/75	N39E/15 NW	1.02	0.745
NZ-2	625608	3668883	Grd	8894	271/1	92/89	N10E/2 NW	1.019	0.74
NZ-3	624869	3668820	Grd	5005	348/4	94/75	N1E/14 NW	1.005	0.299
NZ-4	624162	3668647	Grd	20606	343/18	251/4	N18W/86 NE	1.005	-0.667
NZ-5	624364	3668357	Grd	1736	269/12	42/74	N47W/17 SW	1.031	0.817
NZ-6	625280	3668919	Grd	13650	280/3	150/83	N62E/9 NW	1.02	0.461
NZ-7	625729	3668054	Grd	4245	309/2	55/81	N34W/9 SW	1.027	0.774
NZ-8	625618	3667221	Gr	7318	328/6	118/83	N28E/7 NW	1.011	0.753
NZ-9	625982	3666884	Gr	8636	153/11	3/77	N87W/12 SW	1.018	0.763
NZ-10	626483	3666289	Gr	11519	199/7	83/74	N8W/16 SW	1.017	0.596
NZ-11	626694	3666712	Grd	13612	302/1	201/84	N66E/7 NE	1.022	0.745
NZ-12	626240	3666800	Gr	7361	275/2	6/35	N83W/54 SW	1.017	0.79
NZ-13	625563	3667634	Gr	6323	90/5	360/2	N90E/90 EW	1.01	-0.454
NZ-14	626002	3668800	Grd	4120	221/38	265/18	N51E/78 NE	1.006	-0.442
NZ-15	627913	3667472	Grd	20028	285/6	188/50	N81W/40 NE	1.014	0.736
NZ-16	628028	3667578	Gbr	24530	333/40	197/41	N73W/49 NE	1.063	0.853
NZ-16c,d	628028	3667578	Grd	11782	248/60	358/11	N87E/79 SE	1.005	0.830
NZ-17	627225	3667424	En	7305	257/2	310/79	N41E/11 SE	1.004	0.405
NZ-18	626973	3667319	Gr	8267	98/13	248/75	N19W/15 NE	1.007	-0.596
NZ-19	626545	3667415	Gr	8720	264/1	170/72	N80E/18 NW	1.018	0.694
NZ-20	626292	3667999	Gr	9215	305/6	104/84	N14E/7 NW	1.001	0.396
NZ-21	626835	3668116	Gr	2962	230/4	73/86	N12W/5 SW	1.021	0.923
NZ-22	627691	3670933	Grd	13096	181/83	23/6	N66W/84 SW	1.012	-0.564
NZ-23	627267	3670548	Grd	12129	171/51	55/7	N35W/84 SW	1.01	-0.024
NZ-24	626886	3670161	Grd	7588	141/70	317/20	N46E/69 SE	1.006	0.313
NZ-25	627201	3669193	Grd	26322	156/84	345/6	N74E/83 NE	1.018	-0.461
NZ-26	627278	3669280	Dio	12037	80/75	337/4	N66E/88 SE	1.039	0.019
NZ-27	627709	3669147	Grd	6185	257/22	114/64	N24E/27 NW	1.016	0.45
NZ-28	627883	3669134	Grd	41292	117/13	293/76	N25E/14 SE	1.02	0.533
NZ-29	626973	3669391	Dio	32164	212/10	315/17	N45E/73 SE	1.021	0.108
NZ-30	626449	3669616	Dio	5200	179/64	84/2	N6W/87 SW	1.028	0.154
NZ-31	632727	3666412	Gr	14495	323/16	136/74	N47E/16 NW	1.027	0.666
NZ-32	632064	3666166	Dio	24065	267/71	67/18	N22 W/72 SW	1.007	-0.089
NZ-33	634686	3661586	Dio	19850	138/32	28/29	N62W/62 SW	1.01	-0.046
NZ-34	635752	3660341	Grd	13533	173/81	275/2	N5E/88 SE	1.0019	0.494
NZ-35	636862	3659163	Dio	15887	245/27	145/20	N55E/69 NW	1.01	0.362
NZ-36	636934	3657959	Grd	26897	222/19	315/9	N45E/82 SE	1.014	0.551
NZ-37	637487	3658053	Grd	27115	360/61	149/26	N59E/64 NW	1.011	0.63
NZ-38	638062	3657775	Dio	7411	311/81	136/14	N46E/76 NW	1.01	-0.216
NZ-39	637326	3658698	Grd	32705	298/61	141/27	N51E/63 NW	1.015	-0.281
NZ-40	636558	3659482	Dio	33372	37/13	133/25	N43E/65 NW	1.022	0.139
NZ-41	636090	3659892	Dio	24102	243/15	4/63	N87W/28 SW	1.01	0.044
NZ-42	635475	3661229	Grd	6531	31/12	144/57	N54E/33 NW	1.01	0.173
NZ-43	634645	3661164	Dio	12029	2/75	139/11	N49E/79 NW	1.02	0.029

جدول ۱- ادامه.

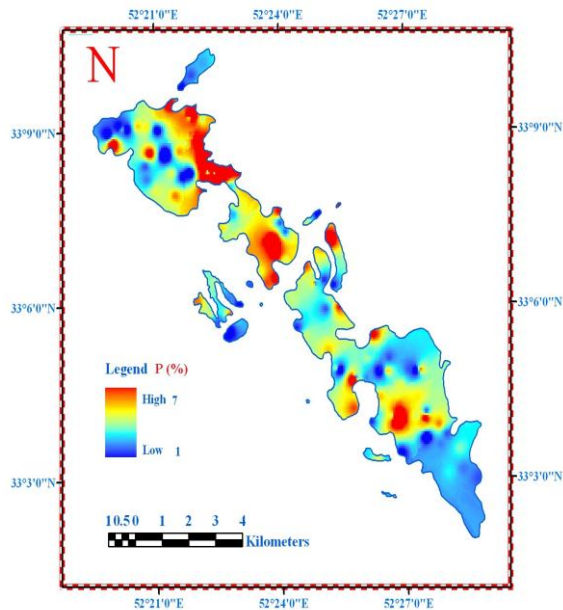
Site No.	X	Y	Lithology	$K_m(\mu_{SI})$	$K_1(d/i)$	$K_2(d/i)$	F(strike/dip)	P	T
NZ-44	634336	3661145	Ton	87	101/19	218/53	N52W/37 NE	1.003	-0.569
NZ-45	634350	3661196	Gr	1397	108/82	311/7	N41E/83 SE	1.01	-0.107
NZ-46	634108	3662319	Dio	40681	238/81	358/5	N87E/86 SE	1.025	-0.627
NZ-47	633113	3663202	Dk-Ap	42851	282/27	29/30	N62W/61 SW	1.033	0.136
NZ-48	632819	3663197	Gr	17171	21/1	287/79	N16E/11 SE	1.024	0.007
NZ-49	632579	3663892	Grd	11636	16/4	276/51	N6E/40 SE	1.008	0.300
NZ-50	632379	3665336	Grd	12730	340/12	224/65	N46W/25 NE	1.03	0.476
NZ-51	632756	3664620	Dio	10667	27/2	296/50	N26E/40 SE	1.015	0.249
NZ-52	631641	3660169	Grd	45817	10/15	266/42	N4W/49 NE	1.013	-0.086
NZ-53	633385	3659968	Dk-Ap	73955	92/70	253/19	N16W/71 NE	1.023	0.985
NZ-54	634354	3659759	Dio	21701	51/51	292/22	N22E/69 SE	1.014	0.201
NZ-55	635013	3659662	Dio	16983	302/84	139/6	N49E/84 NW	1.041	-0.087
NZ-56	634777	3659733	Grd	20226	193/4	285/28	N15E/62 SE	1.017	-0.402
NZ-57	634374	3660351	Grd	27009	223/19	125/22	N35E/68 NW	1.02	-0.319
NZ-58	634048	3659561	Grd	18246	174/20	273/22	N2E/68 SE	1.009	0.246
NZ-59	636370	3657947	Grd	22368	93/79	278/12	N8E/78 SE	1.012	-0.114
NZ-60	634914	3657190	Gr	7486	185/17	355/73	N84E/17 SE	1.017	0.417
NZ-61	634675	3657261	Grd	16451	211/2	314/82	N48E/8 SE	1.012	0.09
NZ-62	633845	3658509	Dio	16629	287/36	22/7	N68W/84 SW	1.013	-0.372
NZ-63	634616	3658389	Grd	25157	5/15	249/59	N21W/31 NE	1.013	-0.066
NZ-64	635162	3658552	Grd	21974	57/13	168/59	N79E/31 NW	1.007	-0.487
NZ-65	634324	3658368	Dio	15355	14/64	139/16	N49E/74 NW	1.018	-0.625
NZ-66	631238	3662516	Dio	18091	236/69	64/21	N26W/69 SW	1.009	-0.097
NZ-67	630857	3663533	Dio	13743	280/71	98/19	N8E/72 NW	1.016	0.485
NZ-68	632700	3661250	Dio	24166	44/42	286/28	N17E/63 SE	1.016	0.773
NZ-69	632822	3661191	Ton	49	209/55	88/17	N2W/74 SW	1.003	-0.526
NZ-70	633377	3660897	Dio	43454	180/18	279/24	N9E/66 SE	1.038	0.277
NZ-71	633458	3660962	Gr	163	350/51	91/8	N1E/82 NW	1.01	0.764
NZ-72	633857	3660940	Dio	6458	187/23	70/47	N20W/42 SW	1.011	-0.658
NZ-73	633938	3660999	Gr	19028	35/85	240/5	N30W/85 NE	1.012	-0.196
NZ-74	628014	3664165	Dio	6374	37/4	235/86	N34W/4 NE	1.015	0.239
NZ-75	628144	3664012	Grd	4590	2/18	103/33	N13E/57 NW	1.016	-0.363
NZ-76	628652	3663437	Gr	6122	200/44	294/4	N24E/86 SE	1.011	0.273
NZ-77	629105	3663232	Gr	7125	138/31	303/58	N34E/32 SE	1.005	-0.109
NZ-78	628762	3662969	Grd	6137	179/4	278/68	N10E/23 SE	1.022	0.884
NZ-79	628659	3662450	Dio	15376	110/69	2/7	N88W/84 SW	1.005	-0.322
NZ-80	627952	3662945	Grd	6343	184/6	36/82	N55W/8 SW	1.017	-0.221
NZ-81	627499	3663348	Gr	4293	194/4	303/77	N33E/14 SE	1.022	0.465
NZ-82	628289	3662682	Gr	3234	178/18	303/61	N33E/29 SE	1.01	0.612
NZ-83	629864	3664313	Dio	16471	217/1	308/67	N40E/23 SE	1.018	0.542
NZ-84	629487	3664975	Dio	14232	105/87	264/3	N6W/87 NE	1.021	-0.38
NZ-85	628836	3666126	Grd	15790	190/5	281/9	N11E/81 SE	1.012	0.348
NZ-86	628773	3667007	Grd	28067	351/51	243/14	N27W/77 NE	1.013	0.06
NZ-87	628170	3667549	Dio	28521	182/17	273/2	N3E/89 SE	1.076	0.246
NZ-88	628137	3667462	Grd	17430	40/21	275/56	N6E/34 SE	1.014	0.579
NZ-89	629112	3666434	Dio	16795	20/72	111/1	N21E/89 NW	1.018	0.682
NZ-90	629478	3663891	Gr	10507	129/11	337/78	N67E/12 SE	1.01	0.224
NZ-91	630123	3663965	Dio	46286	203/7	294/10	N24E/81 SE	1.023	-0.092
NZ-92	629894	3663282	Dio	37515	145/19	245/28	N25W/62 NE	1.016	0.128
NZ-93	631199	3664932	Grd	15165	106/14	279/76	N9E/15 SE	1.019	0.16
NZ-94	631576	3664487	Dio	21699	215/6	106/73	N16E/17 NW	1.023	-0.533
NZ-95	631440	3663824	Dio	21366	208/24	111/15	N21E/74 NW	1.016	-0.575

جدول ۱- ادامه.

Site No.	X	Y	Lithology	$K_m(\mu S)$	$K_1(d/i)$	$K_3(d/i)$	F(strike/dip)	P	T
NZ-96	632417	3661806	Grd	50301	140/80	312/10	N42E/79 SE	1.02	0.694
NZ-97	631566	3662254	Dio	28572	317/78	215/3	N55W/88 NE	1.017	-0.723
NZ-98	630807	3664640	Grd	13348	21/67	280/5	N11E/86 SE	1.017	-0.111
NZ-99	630473	3664885	Grd	8560	357/81	259/1	N11W/89 NE	1.027	-0.754
NZ-100	630459	3664110	Grd	21119	210/17	115/17	N25E/73 NW	1.026	0.461
NZ-100a	630459	3664110	Gbr	51711	205/7	33/82	N69W/4 SW	1.022	-0.54
NZ-101	630571	3666231	Grd	12915	39/5	214/85	N50W/5 NE	1.025	0.572
NZ-102	630610	3665872	Gr	10539	284/1	14/46	N77W/45 SW	1.01	0.653
NZ-103	630807	3665582	Grd	16833	19/39	263/28	N6W/63 NE	1.01	-0.212
NZ-104	630385	3665292	Grd	62516	205/1	301/78	N33E/12 SE	1.033	0.138
NZ-105	631093	3665491	Grd	35101	173/7	75/47	N15W/44 SW	1.018	-0.618
NZ-106	632318	3663136	Grd	28932	183/32	311/44	N41E/46 SE	1.01	0.031
NZ-107	632503	3663504	Grd	16881	175/34	278/19	N8E/72 SE	1.016	0.561
NZ-108	633964	3661730	Grd	16204	324/6	190/82	N85W/8 NE	1.014	0.114
NZ-109	633881	3661577	Grd	31862	264/21	138/53	N42W/53 NW	1.016	-0.181
NZ-110	635102	3660673	Grd	39230	102/73	258/15	N11W/75 SE	1.018	0.664
NZ-111	635720	3659725	Grd	35684	258/3	159/72	N70E/18 NW	1.017	0.282
NZ-112	635969	3659487	Grd	11648	29/7	282/68	N14E/22 SE	1.02	-0.578
NZ-113	636097	3659073	Grd	18987	229/77	128/4	N38E/86 NW	1.003	-0.107
NZ-114	636049	3659650	Grd	14553	344/66	102/12	N12E/78 NW	1.029	0.357
NZ-115	636612	3658831	Grd	23306	322/5	77/78	N15W/12 SW	1.011	0.446
NZ-116	636448	3658616	Dio	15376	309/13	62/59	N28W/32 SW	1.012	0.364
NZ-117	635722	3661173	Gr	965	227/6	332/69	N62E/20 SE	1.003	0.009
NZ-118	635865	3661202	Gr	17638	255/63	19/16	N71W/74 SW	1.022	-0.288
NZ-119	624688	3668826	Grd	28842	17/3	116/71	N24E/19 NW	1.013	0.359
NZ-120	624582	3668901	Grd	37451	320/41	131/59	N40E/31 NW	1.006	0.26
NZ-121	632257	3664053	Grd	16599	347/41	252/6	N18W/84 NE	1.009	-0.563
NZ-122	631929	3663942	Dio	20180	149/44	358/42	N88E/48 SE	1.008	-0.252
NZ-123	631888	3663946	Dio	17701	320/12	56/25	N34W/65 SW	1.024	0.066

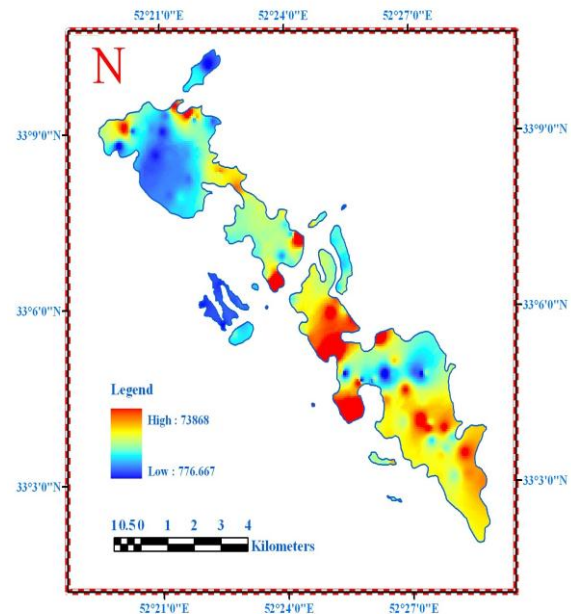
گرانیت‌ها و گرانودیوریت‌ها)، تغییرات ترکیبی تدریجی است و نمی‌توان مرز آشکاری میان آنها رسم کرد. اما از آنجایی که برای همه ایستگاه‌های نمونه‌برداری، مقطع نازک تهیه شده است، ترکیبات سنگی در هر ایستگاه نمونه‌برداری (مغزه‌گیری) دقیق و برپایه واقعیت‌های زمین‌شناسی است. از سوی دیگر، این موضوع برای گستره ترکیبی مافیک (گابروی الیوین‌دار تا دیوریت)، مصداق دارد. این‌گونه تغییرات تدریجی معمولاً از ویژگی‌های شناخته‌شده توده‌های گرانیتیویدی نوع I شمرده می‌شوند و گواهی بر رویداد جدایش بلورین به‌شمار می‌رود.

در شکل ۳ تغییرات مقدار پذیرفتاری مغناطیسی (پارامتر K_m) در توده گرانیتیویدی ظفرقند به‌صورت گستره رنگی از کمترین (با رنگ آبی تیره) تا بیشترین (با رنگ سرخ تیره) نمایش داده شده است. مناطق دارای مقادیرهای کم K_m در گستره رخنمون گرانیت‌ها و گرانودیوریت‌ها هستند و مناطق دارای مقادیرهای بالا و بسیار بالای K_m در گستره رخنمون گابرویدیوریت‌ها و گابروها دیده می‌شوند. بررسی‌های سنگ‌نگاری و صحرایی نیز این موضوع را تأیید می‌کند. گفتنی است که در گستره ترکیبی فلسیک



شکل ۴- نقشه تغییر مقادیر ناهمگنی مغناطیسی (P) در توده گرانیتویدی ظفرقند (جنوب‌خاوری اردستان) (بر پایه درصد).

از آنجایی که در توده گرانیتویدی ظفرقند، نشانی از تحمیل تنش و دگرشکلی دیده نمی‌شود، میان مقادیرهای P و دگرشکلی وابستگی دیده نمی‌شود؛ اما معمولاً با افزایش مقدار پذیرفتاری مغناطیسی (Km)، مقدار ناهمگنی مغناطیسی (P) افزایش می‌یابد. بررسی نقشه تغییر مقادیرهای T (شکل ۵) نشان می‌دهد که در گستره گسترش سنگ‌های گرانیتی-گرانودیوریتی، پارامتر شکل دارای مقادیرهای صفر تا یک و بیشتر نزدیک به یک است؛ از این‌رو، بیضوی مغناطیسی مربوط به این سنگ‌ها از نوع کلوچه‌ای شکل (oblate) است و نشان‌دهنده آشکارتر بودن برگوارگی مغناطیسی در برابر خطوارگی مغناطیسی است. همچنین، در محدوده گسترش سنگ‌های کوارتزدیوریتی تا گابرویی پارامتر شکل دارای مقادیرهای کمتر از صفر (یا منفی) است. مقادیرهای منفی پارامتر شکل معرف بیضوی مغناطیسی دوکی‌شکل (کشیده یا prolate) هستند.

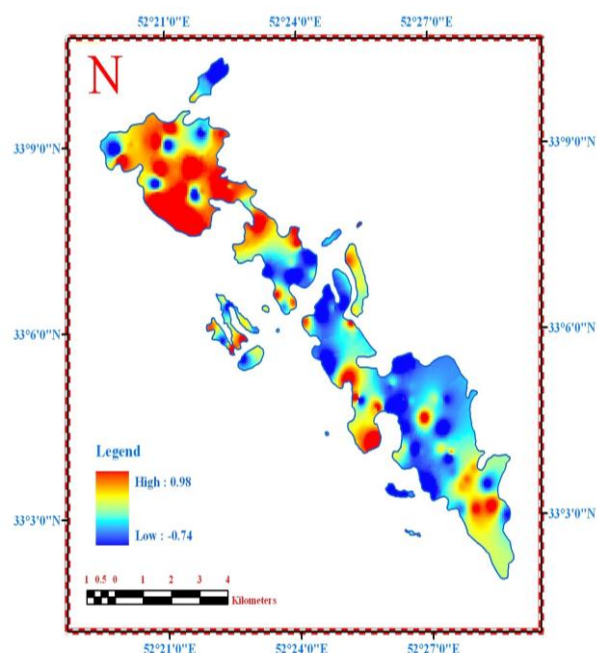


شکل ۳- نقشه تغییرات میانگین مقادیرهای پذیرفتاری مغناطیسی (پارامتر Km) در توده گرانیتویدی ظفرقند (جنوب‌خاوری اردستان)

ان ایزوتروپی (ناهمگنی) مغناطیسی و پارامتر شکل (T و P)

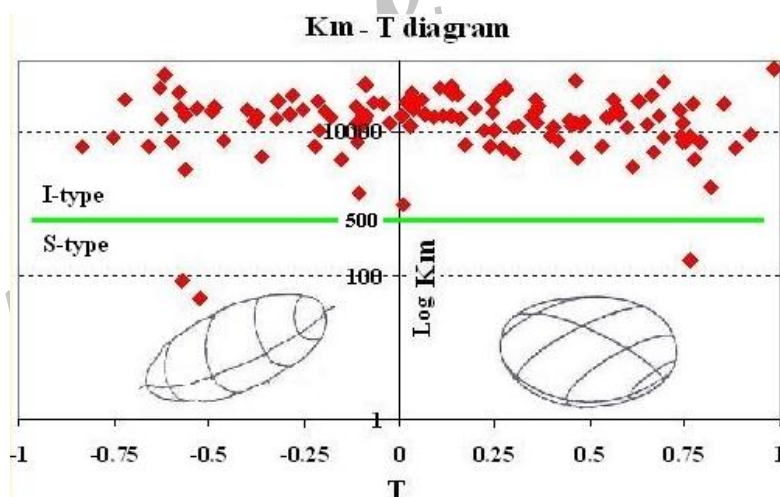
P و T از پارامترهای مغناطیسی دیگری هستند که در تعبیر و تفسیر فابریک‌های مغناطیسی و شناسایی سازوکار جایگیری توده‌های نفوذی نقش مهمی بازی می‌کنند. نقشه تغییرات P و T در شکل‌های ۴ و ۵ نشان داده شده‌اند. این دو پارامتر در سنگ‌های گرانیتی بی‌مگنتیت کمابیش دارای همخوانی مثبت با یکدیگر هستند. افزایش مقادیرهای P و T به افزایش شدت دگرشکلی و باز تبلور کانی‌های گوناگون (به‌ویژه کوارتز و فلدسپارها) وابسته است. در توده‌های گرانیتویدی دارای مگنتیت (نوع I) معمولاً ارتباط مستقیمی میان مقادیرهای P و T دیده نمی‌شود. در توده گرانیتویدی ظفرقند، سنگ‌های گابرویی و دیوریتی دارای مقادیرهای P بالا و در برابر آنها، گرانیت‌ها و گرانودیوریت‌ها دارای مقادیرهای P کمتری هستند (شکل ۴).

است. شکل ۶ نشان می‌دهد که بیشتر نمونه‌های سنگی دارای K_m بزرگ‌تر از $500 \mu SI$ و T بزرگ‌تر از صفر هستند. نمونه‌های سنگی دارای K_m بزرگ‌تر از $500 \mu SI$ و $T > 0$ بیشتر نشان‌دهنده ترکیبات گرانیت-گرانودیوریتی هستند. نمونه‌های کمیابی که دارای K_m کمتر از $500 \mu SI$ هستند، گرانیت‌های دگرسان‌شده و تونالیت‌های فقیر از کانی‌های فرومنیزین هستند. در شکل ۶، مرز $500 \mu SI$ که گستره گرانیتوئیدهای پارامغناطیس و فرومغناطیس یا هم‌ارزهای آنها (انواع S و I) را از هم جدا می‌کند نیز نشان داده شده است. همان‌گونه که در شکل ۶ دیده می‌شود، کمابیش همه نمونه‌ها در قلمرو گرانیتوئیدهای فرومغناطیس و هم‌ارز نوع I جای می‌گیرند. بررسی‌های میکروسکوپی و ویژگی‌های زمین‌شیمیایی نیز نشان‌دهنده این پدیده هستند (Sadeghian and Ghaffari, 2011).



شکل ۵- نقشه تغییر مقادیر پارامترهای شکل (T) در توده گرانیتوئیدی ظفرقند (جنوب‌خاوری اردستان)

تغییر K_m در برابر T در شکل ۶ نشان داده شده



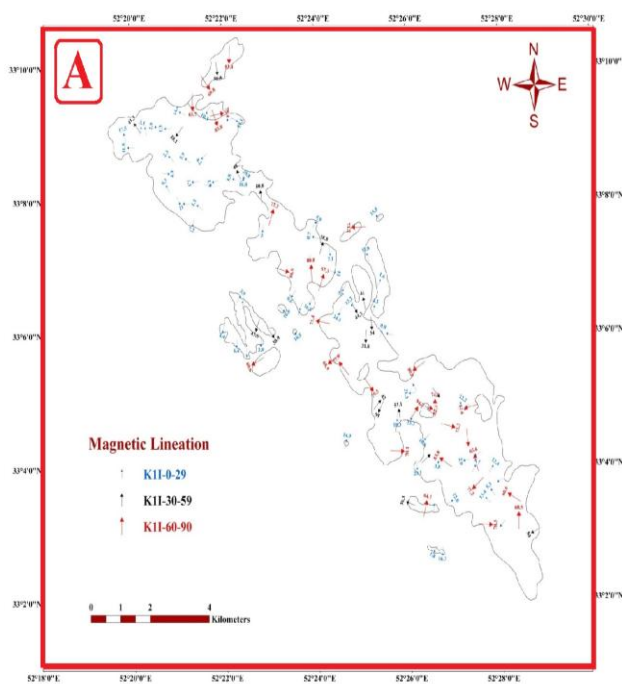
شکل ۶- نمودار نیمه‌لگاریتمی تغییر K_m در برابر T برای توده گرانیتوئیدی ظفرقند (جنوب‌خاوری اردستان)

شدنی است. همان‌گونه که گفته شد K_1 هم‌ارز خطوارگی مغناطیسی و جهت جریان‌یافتگی ماگما است. همچنین، سوی کشش در منطقه را نشان می‌دهد و در رسم نقشه‌های خطوارگی مغناطیسی به کار برده می‌شود. افزون بر این، K_3 هم‌ارز قطب

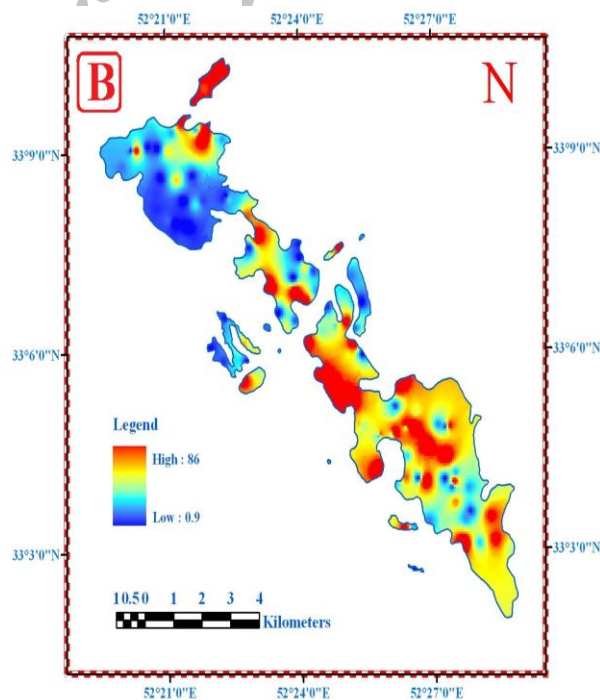
خطواره‌ها و برگواره‌های مغناطیسی

بر پایه نتایج اندازه‌گیری و شناسایی فابریک‌های مغناطیسی می‌توان چگونگی حرکت یا جریان‌یافتن ماگما را شناسایی کرد. این کار به کمک تفسیر مقادیرهای برداری K_1 ، K_2 و K_3

می‌شود و مقدار چرخش آن نشان‌دهنده آزمون می‌شود. نقشه خطواره‌های مغناطیسی توده گرانیتویدی ظفرقند در شکل A-۷ نشان داده شده است. تغییر میل خطواره‌های مغناطیسی به صورت نقشه کنتوربندی شده (به صورت طیف رنگی) در شکل B-۷ نشان داده شده است. گفتنی است که برای نخستین بار، در این پژوهش رسم نقشه‌ها و نمایش تغییرات آنها سراسر خودکار و با نرم‌افزار ArcGIS 9.3 انجام شده است. از آنجایی که تعبیر و تفسیر خطواره‌ها و برگواره‌های مغناطیسی بهتر است همزمان انجام شود، نقشه خطواره‌ها در بخش‌های بعدی شرح داده شده‌اند.



برگوارگی مغناطیسی هنگام جریان‌یافتگی ماگماست و با آن برگوارگی مغناطیسی شناسایی و ترسیم می‌شود. در این نقشه‌ها نماد \uparrow نشانه خطواره‌های مغناطیسی و نماد \downarrow نشانه برگوارگی مغناطیسی در هر ایستگاه است. خطواره‌ها و برگواره‌های مغناطیسی برپایه مقدار میل خود در سه دسته شیب ۰ تا ۲۹ درجه با نماد کوتاه، ۳۰ تا ۵۹ با نماد متوسط و ۶۰ تا ۹۰ با نماد بلند نمایش داده شده‌اند (گفتنی است که این گزینه اختیاری است و در برخی مراجع علمی برعکس آن نیز به کار رفته است). برای ترسیم خطواره‌های مغناطیسی هر نماد \uparrow نسبت به شمال نقشه توجیه



شکل ۷ - A) نقشه خطواره‌های مغناطیسی توده گرانیتویدی ظفرقند (جنوب‌خاوری اردستان) و تغییرات روند آنها؛ B) نقشه کنتوربندی شده شیب خطواره‌های مغناطیسی

برگواره‌های مغناطیسی، میل خطواره‌های مغناطیسی و شیب برگواره‌های مغناطیسی همراه با توجه به تغییرات ترکیب سنگ‌شناسی، ریزساخت‌ها و همه بررسی‌های صحرائی، یکجا پرداخته می‌شود. در پایان، هر توده نفوذی به چند

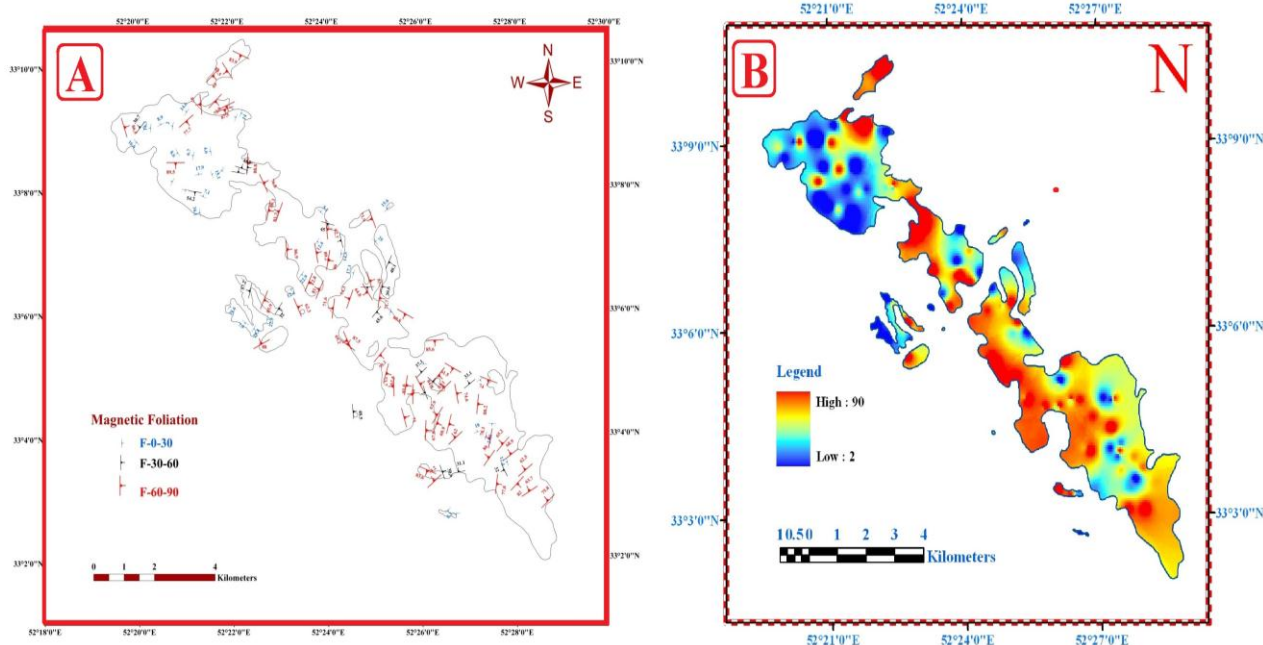
نقشه تغییر برگوارگی در شکل A-۸ نشان داده شده است. همچنین، نقشه کنتوربندی شده تغییر شیب برگواره‌های مغناطیسی در شکل B-۸ نشان داده شده است. گفتنی است که به تغییر روند (آزمون) خطواره‌های مغناطیسی، راستای

بالاست (نزدیک به قائم). بررسی همزمان مقدار شیب خطواره‌ها و برگواره‌های مغناطیسی (شکل‌های ۷ و ۸) نشان می‌دهد که راستای شمال‌باختری-جنوب‌خاوری خطواره‌ها و برگواره‌های مغناطیسی که دارای شیب بیشتری هستند کمابیش با بخش مرکزی توده گرانیتویدی ظفرقند همخوانی دارد. ترکیب سنگ‌شناسی این مناطق از گابرو تا کوارتز دیوریت متغیر است و برپایه بررسی‌های گسترده، آمیزش ماگمایی در کناره‌های این مناطق دیده می‌شود. نکته چشمگیر دیگر این است که مناطق دارای مقادارهای پذیرفتاری مغناطیسی میانگین بالا، دارای خطواره‌های مغناطیسی با میل بالا نیز هستند؛ از این رو، گویا این مناطق پهنه یا پهنه‌های تغذیه‌کننده ماگما بوده‌اند. در کناره باختری و شمال‌باختری توده گرانیتویدی ظفرقند، شیب خطواره‌های مغناطیسی بسیار کم است.

قلمرو یا منطقه دارای ویژگی‌های منحصر به خود تقسیم می‌شود و تغییرات آنها به صورت قلمرویی بحث و بررسی می‌شود. در ادامه، در این باره به تفصیل صحبت خواهد شد.

مناطق دارای ترکیب گرانیتی-گرانودیوریتی دارای خطواره‌های مغناطیسی با میل کم تا بسیار کم هستند و نشان‌دهنده گسترش ماگما در یک تراز کمابیش افقی هستند؛ اما در مناطق دارای ترکیب دیوریتی، گابرو دیوریتی و به ویژه گابروها، میل خطواره‌های مغناطیسی بالا تا بسیار بالاست.

نخستین بررسی‌ها روی مقادارهای شیب برگواره‌های مغناطیسی (شکل ۸) نشان می‌دهد که همانند آنچه درباره خطواره‌های مغناطیسی گفته شد، شیب برگواره‌های مغناطیسی در محدوده حضور سنگ‌های گرانیتی-گرانودیوریتی بسیار کم (نزدیک به افقی) و در برابر، در گستره گسترش سنگ‌های گابرو دیوریتی و به ویژه گابروها، بسیار

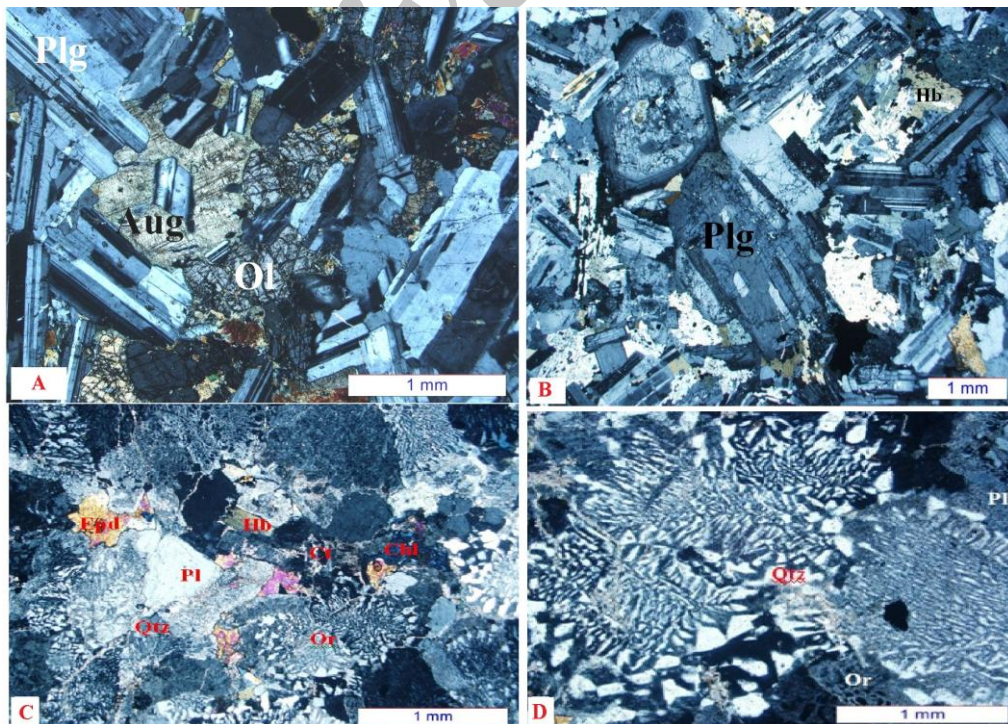


شکل ۸- A) نقشه برگواره‌های مغناطیسی توده گرانیتویدی ظفرقند (جنوب‌خاوری اردستان) و تغییرات راستای آنها؛ B) نقشه کنتوربندی تغییرات شیب برگواره‌های مغناطیسی

یابد و از ۶۰ درصد فراتر رود، بلورها با یکدیگر درگیر شده و زمینه میان آنها را مذاب فرا می‌گیرد. اگر مقدار مذاب به‌جامانده، از آستانه بحرانی پدیدآوردن جریان ماگمایی کمتر شود، فابریک ساب‌ماگمایی پدید می‌آید. برای آشنایی بیشتر با بافت ساب‌ماگمایی، پژوهش‌ها و یافته‌های Paterson و همکاران (۱۹۸۹)، Hibbard (۱۹۸۷)، McBirney و Murase (۱۹۸۴) و Bouchez و همکاران (۱۹۹۲) بررسی شوند. در نمونه‌های سنگی برخی ایستگاه‌های نمونه‌برداری توده گرانیتوئیدی ظفرقند، فابریک ساب‌ماگمایی دیده شده است. ریزساخت‌ها یا فابریک‌های دیگر (مانند: ساب‌سولیدوس حالت جامد دما پایین و ساب‌سولیدوس حالت جامد دما بالا و میلونیتی شدن) به‌ندرت در توده گرانیتوئیدی ظفرقند دیده شده‌اند و تنها در کناره‌های این توده نفوذی و پهنه‌های گسلی یافت می‌شوند.

ریزساختارهای توده گرانیتوئیدی ظفرقند

در بررسی فابریک‌های مغناطیسی، یکی از مرحله‌های کاری دیگر بررسی ریزساخت‌هاست. بررسی ریزساخت‌های میکروسکوپی توده گرانیتوئیدی ظفرقند نشان می‌دهد که فابریک‌های ماگمایی (شکل ۹) و ساب‌ماگمایی در سنگ‌های سازنده این توده نفوذی دیده می‌شوند. فابریک‌های ماگمایی معمولاً در دمای بالاتر از دمای سولیدوس ماگما پدید می‌آیند و پس از تبلور کامل سنگ، هیچ‌گونه واکنشی در حالت جامدی در آنها رخ نمی‌دهد. فابریک‌های ماگمایی، دگرشکلی حالت جامد آشکاری را نشان نمی‌دهند؛ اما چه‌بسا گاهی در کوارتزها خاموشی موجی دیده شود (Paterson *et al.*, 1989). فابریک ساب‌ماگمایی، فابریک دیگری است که در سنگ‌های سازنده توده گرانیتوئیدی ظفرقند دیده می‌شود. هنگامی که با کاهش دما، درصد حجمی بخش تبلور یافته افزایش



شکل ۹- تصویرهایی از فابریک‌ها یا ریزساخت‌های ماگمایی در نمونه‌های سنگی بارز توده گرانیتوئیدی ظفرقند (جنوب‌خاوری اردستان). (A) گابرو؛ (B) دیوریت؛ (C) گرانودیوریت؛ (D) گرانیت (همه تصویرها در نور پلاریزه متقاطع یا XPL هستند)

قلمرو بندی فابریک‌های مغناطیسی

سرانجام برپایه بررسی‌ها و یافته‌های صحرایی، ترکیب سنگ‌شناسی، تغییر مقدارهای P ، T و K_m ، تغییر آزیموت و مقدار میل خطواره‌های مغناطیسی، راستا و شیب برگواره‌های مغناطیسی و همچنین، برپایه مبانی تعبیر و تفسیر فابریک‌های مغناطیسی (مانند: Bouchez, 1997; Hrouda and Tarling, 1993; Martín-Hernández *et al.*, 2004)، توده گرانیتوییدی ظفرقند به ۵ قلمروی ۱، ۲، ۳، ۴ و ۵ پهنه‌بندی شد (شکل ۱۰). همچنین، قلمرو ۱ دو زیرقلمرو دارد که عبارتند از: زیرقلمروی ۱A و ۱B.

۱- قلمروی ۱: با توجه به اختلاف بسیار آزیموت خطواره‌های مغناطیسی، این قلمرو به دو زیرقلمروی ۱A و ۱B پهنه‌بندی شد؛

۱- الف- زیرقلمروی ۱A: در این زیرقلمرو، بیشتر خطواره‌های مغناطیسی دارای میل بسیار کم و نزدیک به افقی هستند. همچنین، میل بیشتر خطواره‌های مغناطیسی به‌سوی باختر است. خط‌نشان‌دهنده بهترین خطواره‌گی مغناطیسی دارای مشخصات ۲۸۲/۶ است. این ویژگی نشان می‌دهد که ماگما یا جریان ماگمایی با میل بسیار کم و نزدیک به افق به‌سوی باختر-شمال‌باختر حرکت کرده است. میل بسیار کم خطواره‌های مغناطیسی نشان می‌دهد که این بخش از توده نفوذی ساختاری بزرگ مقیاس دارد؛ اما با شیب کم جایگزین شده و به‌سوی باختر-شمال‌باختر گسترش پیدا کرده است.

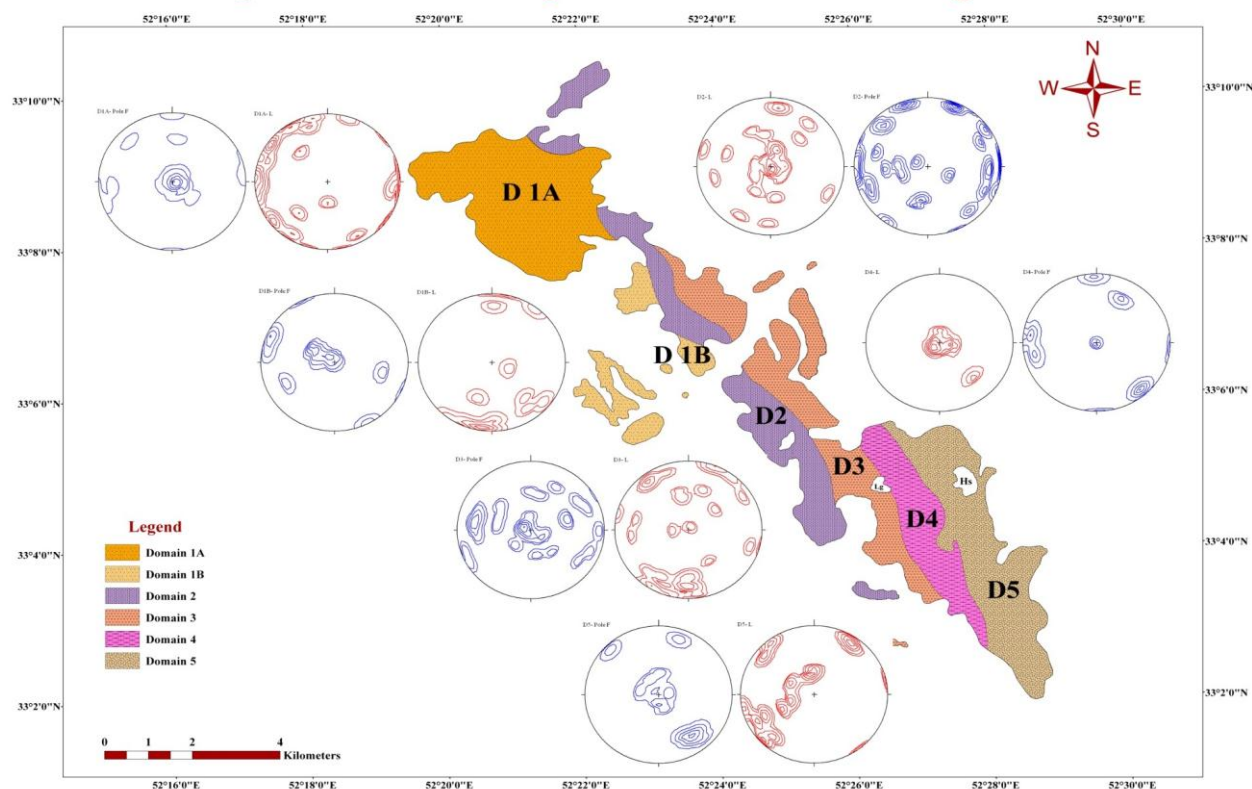
بررسی‌های صحرایی مانند حضور انکلاوهای شناور در توده نفوذی با شیب بسیار کم در این قلمرو این پدیده را تأیید می‌کند. این انکلاوها همراه با ماگمای گرانودیوریتی و به‌صورت اجسام شناوری درون توده نفوذی جابجا شده‌اند. برگواره‌های مغناطیسی این زیرقلمرو دارای شیب بسیار کمی هستند. مشخصات بهترین قطب

برگواره‌های مغناطیسی این زیرقلمرو ۸۷/۸۴ است. شیب بسیار کم برگواره‌های مغناطیسی به‌همراه میل کم خطواره‌های مغناطیسی و بررسی‌های صحرایی مانند دارابودن انکلاوهای میکروگرانولار مافیک با وضعیت کمابیش افقی، می‌توانند نشان‌دهنده آن باشند که توده نفوذی در این زیرقلمرو، به شکل یک سیل یا جریان ماگمایی کم‌شیب جایگزین شده است.

۱- ب- زیر قلمروی ۱B: در این زیرقلمرو آزیموت بیشتر خطواره‌ها به‌سوی جنوب است و مقدار میل آنها کم است. خط‌نشان‌دهنده بهترین خطواره‌گی مغناطیسی با مشخصات ۱۸۳/۱۱ این پدیده را تأیید می‌کند. از سوی دیگر، بررسی‌های صحرایی مانند آرایش‌یافتگی انکلاوهای میکروگرانولار مافیک با یافته‌های به‌دست‌آمده از بررسی فابریک‌های مغناطیسی همخوانی دارد.

در زیرقلمروی ۱B، همانند زیرقلمروی ۱A، بیشتر برگواره‌های مغناطیسی دارای شیب کم تا نزدیک به افقی هستند و مشخصات بهترین قطب برگواره‌های مغناطیسی این قلمرو برابر است با ۲۹۴/۵۹. میل بسیار کم خطواره‌های مغناطیسی در این قلمرو، نشان‌دهنده آنست که ماگمای گرانودیوریتی با شیب بسیار کم به‌سوی جنوب حرکت کرده است. برگواره‌های مغناطیسی این قلمرو، همراه با خطواره‌های مغناطیسی دارای میل کم، فرض جریان‌یافتن ماگما به‌صورت سیل یا جریان ماگمایی کم شیب در این قلمرو را نشان می‌دهند. بررسی وضعیت کنتاکت یا سطح تماس این توده نفوذی با سنگ‌های میزبان در آغاز دره بیدشک و دره خاوری-باختری روبروی روستای ماربین نشان می‌دهد که سطح تماس توده گرانیتوییدی با سنگ‌های میزبان خود کمابیش افقی است و فرض جایگزینی ماگما در این قلمرو به‌صورت سیل یا جریان ماگمایی کم شیب را نشان می‌دهد (شکل ۱۱).

Magnetic Domains Map and their related Stereograms



شکل ۱۰- نقشه قلمروهای مغناطیسی و استریوگرام‌های مربوط به وضعیت خطواره‌ها (استریوگرام‌های قرمز رنگ- سمت راست) و برگواره‌های آنها (استریوگرام‌های آبی رنگ- سمت چپ) (Gavanji, 2010) در ظفرقند (جنوب‌خاوری اردستان). استریوگرام خطواره‌ها و قطب برگواره‌های مغناطیسی هر قلمرو در کنارش نمایش داده شده است تا تغییرات به آسانی دیده و شناخته شوند. در این شکل، استریوگرام‌ها به شکل کنتوربندی‌شده نمایش داده شده‌اند تا بررسی آنها ساده‌تر و آسان‌تر باشد.



شکل ۱۱- نمایی از سطح تماس تقریباً افقی توده گرانیتویدی ظفرقند (جنوب‌خاوری اردستان) با سنگ‌های میزبان در دره خاوری- باختری روبروی روستای ماربین (ابتدای دره بیدشک- دید به سوی باختر- جنوب‌باختر). این ویژگی می‌تواند تأییدی بر فرضیه جایگیری این بخش از توده گرانیتویدی ظفرقند به صورت سیل یا جریان ماگمایی کم شیب باشد.

۲ برگواره‌های مغناطیسی دارای شیب کمابیش بالا هستند. مختصات بهترین قطب برگواره‌های مغناطیسی این قلمرو برابر است با: ۲۶۹/۹. همچنین، ترکیب سنگی در این قلمرو از گابروی الیوین‌دار تا دیوریت و کوارتز دیوریت است. پس برپایه همه مبانی بررسی‌های فابریک مغناطیسی، این قلمرو را می‌توان پهنه تغذیه‌کننده ماگما به‌شمار آورد. دارابودن انکلاوهای میکروگرانولار مافیک فراوان در مرز میان این قلمرو و زیرقلمروهای ۱A و ۱B و ۳ نشان‌دهنده درستی این نکته هستند.

۳- قلمروی ۳: در این قلمرو بیشتر خطواره‌های مغناطیسی گرداگرد قطب‌های شمالی و جنوبی استریوگرام تمرکز پیدا کرده‌اند و دارای مقدار میل کم تا بالا هستند. از آنجایی که سنگ‌های این قلمرو دارای گستره ترکیبی گرانودیوریت تا دیوریت هستند و جدایش یافتگی تدریجی در آنها دیده می‌شود؛ پس میل خطواره‌های مغناطیسی رفتار متغیرتری نشان می‌دهند. از این‌رو، شاید ماگما از راه یک مجرا یا راهروی ساقه‌ای شکل بالا آمده و همانند یک کلاهک قارچی شکل به پیرامون گسترش یافته است. میانگین خطواره‌های مغناطیسی این قلمرو دارای مشخصات زیر است: ۱۹۰/۴. برگواره‌های مغناطیسی این قلمرو دارای شیب کم تا بالا هستند. مختصات میانگین یا بهترین قطب برگواره‌های مغناطیسی این قلمرو برابر است با: ۲۹۰/۷۱. بررسی خطواره‌های مغناطیسی در قلمروی ۳ می‌تواند نشان‌دهنده درستی این فرضیه باشد که این بخش از توده ماگمایی همانند یک تاج (کلاهک) قارچی شکل بوده و گسترش ماگما در این قلمرو بیشتر به‌سوی جنوب بوده است.

۴- قلمروی ۴: در این قلمرو خطواره‌های مغناطیسی دارای مقدار میل بسیار بالا (نزدیک به قائم) هستند. مشخصات میانگین یا بهترین خطواره مغناطیسی در این قلمرو برابر است با: ۱۳۹/۸۴. همچنین، برگواره‌های مغناطیسی این قلمرو دارای شیب بسیار بالایی هستند.

برپایه جهت یا جهت‌یافتگی کلی بسیار متفاوت خطواره‌های مغناطیسی قلمروی ۱ به زیرقلمروهای ۱A و ۱B پهنه‌بندی شده است. با توجه به چگونگی آرایش خطواره‌های مغناطیسی در قلمروی ۱A، ماگما به‌سوی باختر حرکت کرده است؛ اما در قلمروی ۱B، ماگما به‌سوی جنوب حرکت کرده است. از آنجایی که ترکیب سنگ‌شناسی این دو قلمرو کمابیش یکسان است و مقدار میل خطواره‌های مغناطیسی در هر دو قلمرو بسیار کم است؛ پس این دو گستره با نام قلمرو ۱ معرفی می‌شوند. برای نشان دادن جزئیات بیشتر، قلمروی ۱ را می‌توان به دو زیرقلمرو به نام‌های ۱A و ۱B تقسیم کرد. از شواهد آمیزش ماگمایی دارابودن انکلاوهای میکروگرانولار مافیک در بخش‌های حاشیه‌ای این قلمرو است (Gavanji, 2010; Ghaffari, 2010). به‌طور قاطع نمی‌توان تقدم و تأخر این دو قلمرو نسبت به یکدیگر را شناسایی کرد؛ اما برپایه همانندی ترکیب سنگ‌شناسی آنها، می‌توان گفت این دو زیرقلمرو کمابیش همزمان پدید آمده و جایگزین شده‌اند.

۲- قلمروی ۲: در این قلمرو بیشتر خطواره‌های مغناطیسی دارای میل زیادی هستند. بهترین خطواره یا میانگین خطواره‌های مغناطیسی این قلمرو دارای مشخصات زیر است: ۳۵۸/۸۳. برپایه مبانی روش فابریک مغناطیس (Bouchez, 1997; Ferre et al., 2002, Sadeghian et al., 2005; Horsman et al., 2005)، مقدار میل بالا خطواره‌های مغناطیسی نشان‌دهنده جایگاه‌هایی است که ماگما در آنجا با شیب بالا به‌سوی سطح زمین بالا رفته است. به عبارت دیگر، چنین مناطقی پهنه‌ها یا مناطق تغذیه‌کننده توده‌های نفوذی به‌شمار می‌آیند. یافتن سنگ‌های مافیک تا حد واسط (گابروها و دیوریت‌ها و برخی اعضای تحول‌یافته‌تر آنها مانند کوارتز دیوریت‌ها) در این قلمرو، در کنار دارابودن انکلاوهای میکروگرانولار مافیک در مرز میان این قلمرو با زیرقلمروهای ۱A و ۱B نشان می‌دهد که این قلمرو پهنه تغذیه‌کننده ماگما بوده است. در قلمروی

چاه‌شیرین و شمال مزرعه سید) خطوارگی و برگوارگی قابل استنادی را نشان ندادند. بررسی‌های صحرائی نشان می‌دهند که توده نفوذی ظفرقند در پایانی‌ترین مرحله‌های ماگماتیسم خود، دوباره دچار فعالیت‌های زمین‌ساختی کشتی شده و ماگمای بسیار جدایش‌یافته تونالیتی به‌صورت آپوفیز یا دایک به ترازهای بالاتر راه یافته است.

برپایه وضعیت خطواره‌ها و برگواره‌های مغناطیسی و نیز ویژگی‌های دیگر، مانند تغییرات P و T در پهنه‌های تغذیه‌کننده (قلمروهای ۲ و ۴)، می‌توان گفت که در هنگام پیدایش توده، در رژیم زمین‌ساختی منطقه مؤلفه کشتی کمابیش افقی و در راستای شمال خاور-جنوب‌باختر بوده است و از این‌رو، بالآمدن ماگما به‌صورت دایک را در پی داشته است. سپس در مرحله‌های بعدی، فازهای جدایش‌یافته‌تر توده نفوذی (گرانودیوریت، گرانیت، تونالیت) در راستای این گسل‌ها بالا آمده و این‌بار به‌صورت سیل یا توده‌های نفوذی کم شیب جایگزین شده‌اند.

بررسی خطواره‌های مغناطیسی در مناطق دارای مقدار میل کم، مانند قلمروهای ۱A، ۱B و ۳ و تا اندازه‌ای قلمرو ۵، نشان می‌دهد که رژیم زمین‌ساختی در مرحله‌های پایانی تزریق توده نفوذی با تغییراتی همراه بوده است؛ به‌گونه‌ای که بخش‌های جدایش‌یافته‌تر توده نفوذی که بیشتر ترکیب گرانودیوریتی-گرانیتی داشته و در بخش‌های شمال‌باختری توده نفوذی رخنمون دارند، به‌صورت سیل یا جریان ماگمایی کم شیب جایگزین شده‌اند.

پراکندگی ماگما در زیرقلمروهای ۱A و ۱B متفاوت بوده است؛ به‌گونه‌ای که ماگما در زیرقلمروی ۱A با شیب کم به‌سوی باختر-شمال‌باختری جریان یافته؛ اما ماگما در زیرقلمروی ۱B با شیب بسیار کم به‌سوی جنوب گسترش پیدا کرده است. در قلمروی ۵، ماگما به‌صورت قارچی‌شکل در دو سوی جنوب‌باختر و شمال‌خاور گسترش یافته است.

مشخصات بهترین قطب برگواره‌های مغناطیسی این قلمرو برابر است با: ۲۹۶/۴. همانند آنچه درباره قلمروی ۲ گفته شد، قلمروی ۴ را نیز می‌توان پهنه تغذیه‌کننده دیگری در نظر گرفت که به موازات قلمروی ۲ پدید آمده است. از این‌رو، قلمروی ۴ را می‌توان پهنه تغذیه‌کننده دوم در نظر گرفت؛ اما باید یادآوری کرد که قلمروی ۲ در تغذیه توده ماگمایی اهمیت بیشتری داشته است.

۵- قلمروی ۵: در این قلمرو مقدار میل بیشتر خطواره‌های مغناطیسی کم است؛ اما اندکی از آنها نیز میل کمابیش بالایی دارند. مختصات میانگین خطواره‌های مغناطیسی این قلمرو برابر است با: ۲۴۶/۲۸. در قلمروی ۵ شیب برگواره‌های مغناطیسی از کم تا بالا است و بیشتر برگواره‌های مغناطیسی دارای شیبی نزدیک به ۲۰ تا ۵۰ درجه هستند. مختصات میانگین قطب برگواره‌های مغناطیسی این قلمرو ۱۴۳/۴۳ است. در قلمروی ۵، به تنهایی و برپایه قطب برگواره‌های مغناطیسی نمی‌توان چگونگی حرکت ماگما را شناسایی کرد؛ اما با توجه به چگونگی خطواره‌های مغناطیسی در این قلمرو که بیشتر دارای میل نزدیک به ۲۰ درجه هستند، این بخش از توده نفوذی را نیز می‌توان همانند بخش میانی یا قاعده‌ای، یک توده قارچی‌شکل دانست. ماگما در این قلمرو با شیب کمابیش کم (همانند یک سیل یا جریان ماگمایی کم‌شیب) در دو سوی شمال‌باختر یا جنوب‌خاور گسترش پیدا کرده است.

گفتنی است که که دو توده کوچک و چندین دایک تونالیتی از قلمروها و زیرقلمروهای یادشده گذر می‌کنند. این پدیده نشان‌دهنده جوان‌تر بودن آنها در برابر پیکره اصلی توده نفوذی ظفرقند است. اگرچه نه چنان جوان‌تر که نشان‌دهنده فاز ماگمایی دیگری باشند، اما از پایانی‌ترین فعالیت‌های ماگمایی سازنده توده گرانیوتییدی ظفرقند شمرده می‌شوند. در پی دگرسانی بسیار، دو توده تونالیتی کم‌وسعت (جنوب

الگوی جایگیری توده نفوذی ظفرقند

در شناسایی سازوکار جایگیری توده‌های نفوذی برپایه مبانی روش AMS به چند نکته باید توجه داشت:

(۱) میل زیاد خطواره‌های مغناطیسی نشان‌دهنده وجود مناطق تغذیه‌کننده ماگما یا محل بالارفتن ماگماست؛

(۲) در مناطق تغذیه‌کننده ماگما، شیب برگواره‌های مغناطیسی نیز بالا تا کمابیش بالاست؛

(۳) در مناطق تغذیه‌کننده ماگما معمولاً بیضوی‌های مغناطیسی دوکی شکل هستند و با مقادیر عددی منفی و بزرگ پارامتر شکل یا همان T همخوانی دارند؛

(۴) مقادیرهای کمابیش بالای پارامتر شکل می‌تواند با مناطقی که بیشتر متحمل دگرشکلی شده، متناسب باشد؛

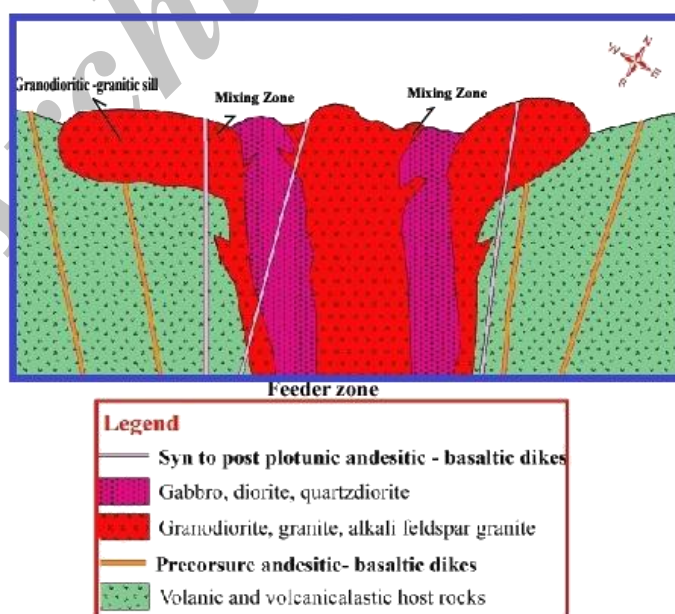
(۵) در شناسایی الگوی جایگیری توده‌های نفوذی باید به ویژگی‌های ساختاری سنگ‌های میزبان

و شواهد دیگر توجه کرد؛ مانند چگونگی توزیع انکلاوها و یا دایک‌های موجود در منطقه جنوب‌خاوری ظفرقند (که قبل، همزمان یا پس از توده نفوذی پدید آمده‌اند)؛

(۶) به نقش عناصر ساختاری بزرگ به‌ویژه گسل‌ها توجه ویژه شود؛

(۷) ماهیت زمین‌شیمیایی توده‌های نفوذی و جایگاه تکتونوماگمایی آنها نیز در تعبیر و تفسیرها در نظر گرفته شود.

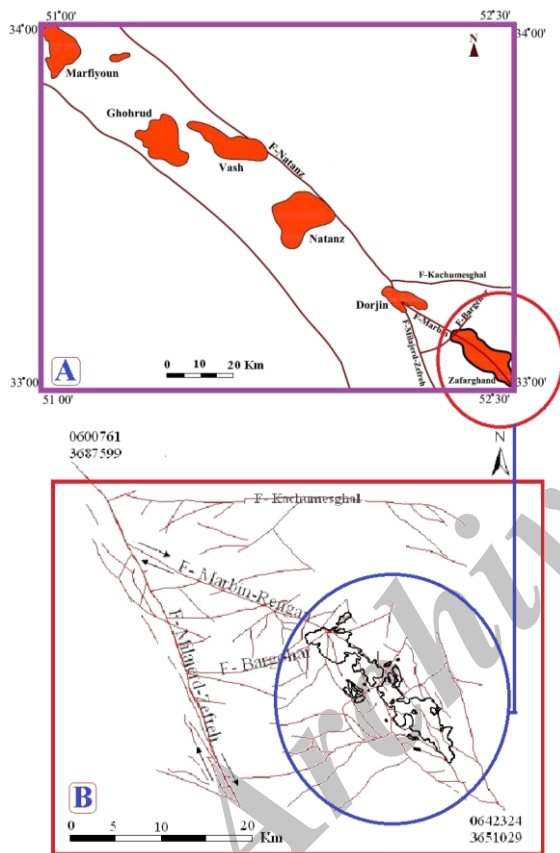
به‌طور کلی، الگوی جایگیری توده نفوذی ظفرقند می‌تواند به‌صورت یک شکل کمابیش قارچی شکل در نظر گرفته شود که بخش ساقه‌ای این قارچ نشان‌دهنده قلمروهای ۲ و ۴ و کلاهدک قارچ که به‌سوی باختر- جنوب‌باختر یا شمال- شمال‌خاوری (در قلمروی ۵) توسعه یافته است نشان‌دهنده زیرقلمروهای ۱A، ۱B و قلمروهای ۳ و ۵ هستند. همچنین، در قلمروی ۳ ماگما بیشتر در دو سوی راستای کلی خود با شیب کم گسترش پیدا کرده است (شکل ۱۲).



شکل ۱۲- الگوی کلی جایگزینی توده نفوذی ظفرقند (جنوب‌خاوری اردستان)، بر پایه فابریک‌های مغناطیسی، بررسی‌های صحرائی، سنگ‌نگاری و زمین‌شیمیایی (Gavanji, 2010)

بحث

جدایش ماگمایی دیده می‌شود؛ اما برپایه نشانه‌های آمیزش ماگمایی اختلاف زمانی میان این دو گروه بسیار کم است. در حقیقت، سنگ‌های گرانیتی-گرانودیوریتی، پیامد تبلور فازهای جدایش‌یافته‌تر همان ماگمای گابرویی-دیوریتی هستند که در هنگام پیدایش خود با آرایش پوسته‌ای چشمگیری همراه بوده است.



شکل ۱۳- A) نمای نمادین از جایگیری توده‌های نفوذی در راستای گسل یا پهنه گسلی راستگرد قم-زفره (گسل‌های زیر مجموعه آن به نام‌های گسل نطنز، گسل میلاجرد-زفره، گسل کچومثقال، ماربین-رنگان و برگهر نیز در این تصویر دیده می‌شوند) برپایه نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ کاشان (Zahedi and Amidi, 1975)؛ B) نقشه شکستگی‌های منطقه که برپایه خطواره‌های دیده شده در تصویرهای ماهواره‌ای و نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ اردستان و ۱:۲۵۰۰۰۰ کاشان رسم شده است. جایگاه توده نفوذی ظفرقند با دایره نشان داده شده است.

شواهد ساختاری موجود نشان می‌دهد که گسل قم-زفره و شاخه‌های فرعی آن در جایگیری توده‌های نفوذی منطقه اردستان تا کاشان سهم بسزایی داشته‌اند. توده گرانیتوئیدی ظفرقند که یکی از این توده‌های نفوذی است، در راستای کلی گسل ماربین-رنگان جایگزین شده است (شکل ۱۳- A). گسل ماربین-رنگان از شاخه‌های فرعی گسل قم-زفره است. حضور توده دیوریتی دورجین در حاشیه شمالی این گسل و در فاصله اندکی از توده گرانیتوئیدی ظفرقند، نیز درستی این نکته را نشان می‌دهد. همچنین، در محل برخورد گسل قم-زفره با گسل ماربین-رنگان (جنوب حسن‌آباد)، سنگ‌های دیوریتی-میکرودیوریتی رخنمون پیدا کرده‌اند. این پدیده از پدیده‌های دیگری است که نقش گسل‌ها در جایگزینی این توده‌های نفوذی را نشان می‌دهد.

نگاهی کوتاه به توده‌های نفوذی ظفرقند، دورجین، نطنز، وش، قهرود، مارفیون و فشارک در نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ اردستان (Radfar, 1998)، کجان (Amini and Amini)، کاشان (Radfar)، نطنز (Khalatbari Jafari and Alaei Mahabadi) و نقشه ۱:۲۵۰۰۰۰ کاشان (Radfar) درستی این نکته را نشان می‌دهد. توده گرانیتوئیدی ظفرقند در راستای گسل ماربین-رنگان جای دارد (شکل ۱۳- B).

گفتنی است که بررسی‌های صحرایی، سنگ‌نگاری، سنگ‌شناسی و زمین‌شیمیایی نیز پیدایش دو مرحله‌ای توده گرانیتوئیدی ظفرقند را نشان می‌دهد: نخست، سنگ‌های گابرویی تا دیوریتی-کوارتزیدیوریتی و سپس، سنگ‌های گرانودیوریتی تا گرانیتی و در پایان، تونالیتی جایگزین شده‌اند. در هر یک از دو گروه یادشده،

مغناطیسی هستند. مقدارهای بالای پذیرفتاری مغناطیسی نشان‌دهنده آنست که این توده گرانیتوییدی، در گروه گرانیتوییدهای فرومغناطیس و هم‌تراز با گرانیتوییدهای نوع I جای می‌گیرد. ویژگی‌های سنگ‌نگاری و زمین‌شیمیایی نشان‌دهنده این است که این توده نفوذی از گرانیتوییدهای نوع I است.

برپایه مبانی روش فابریک مغناطیس و چگونگی تجزیه و تحلیل آنها، توده گرانیتوییدی ظفرقند به ۵ قلمرو و زیرقلمرو (قلمروهای ۱A، ۱B، ۲، ۳، ۴ و ۵) پهنه‌بندی شد. قلمروها و زیرقلمروهای ۱A، ۱B، ۳ و ۵ به صورت سیل یا جریان ماگمایی کم‌شیب جایگزین شده‌اند؛ اما قلمروهای ۲ و ۴ به صورت مناطق تغذیه‌کننده بوده‌اند. تجزیه و تحلیل نهایی داده‌ها نشان می‌دهد که توده گرانیتوییدی ظفرقند هنگام دو مرحله اصلی جایگزین شده است: نخست، سنگ‌های مافیک-حد واسط با ترکیب گابرو تا کوارتزدیوریت در راستای یک پهنه شمال‌باختری- جنوب‌خاوری جایگزین شده‌اند؛ سپس، ماگماهای جدایش‌یافته در اتاق ماگمایی بیشتر از بخش‌های حاشیه‌ای سنگ‌های مافیک-حد واسط به ترازهای بالاتر راه یافته و به شکل سیل یا جریان ماگمایی کم‌شیب گرانودیوریتی-گرانیتی جایگزین شده‌اند. بررسی‌های صحرایی و سنگ‌شناسی نیز درستی این پدیده را نشان می‌دهند. از این رو، توده ظفرقند در هنگام یک سازوکار دو مرحله‌ای جایگزین شده است که عبارتند از: (۱) جایگزینی توده‌های گابرویی تا کوارتزدیوریتی؛ (۲) جایگزینی توده‌های گرانودیوریتی تا گرانیتی. حضور گسترده انکلاوهای میکروگرانولار مافیک و دایک‌های مافیک گسیخته‌شده، در مرز میان این دو گروه سنگی، درستی این پهنه‌بندی را نشان می‌دهند.

رفتار راستگرد گسل قم- زفره، ماربین-رنگان و گسل‌های دیگر وابسته به آن توانسته است فضای

برپایه بررسی‌های صحرایی، توده ظفرقند در هنگام یک سازوکار دو مرحله‌ای جایگیری کرده است. این سازوکار عبارتست از: (۱) جایگیری ماگماهای سازنده گابروها تا کوارتزدیوریت‌ها؛ (۲) جایگیری ماگماهای سازنده گرانودیوریت‌ها تا گرانیت‌ها. حضور گسترده انکلاوهای میکروگرانولار مافیک، دایک‌های گسیخته و متاسوماتیسم در مرز میان این دو گروه سنگی درستی این پهنه‌بندی را نشان می‌دهد.

رفتار گسل راستالغز و راستگرد قم- زفره (Mohajjel and Proohan, 2005) و شاخه‌های فرعی وابسته به آن (شکل ۱۳)، راه‌یابی توده‌های نفوذی به ترازهای بالاتر پوسته را امکان‌پذیر کرده است. رفتار راستگرد سامانه‌های گسلی وابسته به گسل قم- زفره و ماربین-رنگان توانسته است فضای خوبی برای جایگزینی توده گرانیتوییدی ظفرقند پدید آورد که به صورت پیدایش یک پهنه کششی بازشونده (Pull apart basin) توصیف‌شدنی است. جایگیری پهنه تغذیه‌کننده ماگمایی (که برپایه بررسی فابریک مغناطیسی شناسایی شده است) در راستای کلی شمال‌باختر- جنوب‌خاور و هم‌راستا با گسل ماربین-رنگان، درستی این نکته را نشان می‌دهد.

نتیجه‌گیری

اندازه‌گیری پذیرفتاری مغناطیسی سنگ‌های سازنده توده گرانیتوییدی ظفرقند نشان می‌دهد که مقدار میانگین‌های پذیرفتاری مغناطیسی (برحسب μSI) برای گروه‌های سنگی بارز این توده نفوذی عبارتند از: گابروها (۳۲۵۳۶)، دیوریت‌ها (۲۳۷۶۸)، گرانودیوریت‌ها (۱۸۴۳۶)، گرانیت‌ها (۸۰۶۷) و تونالیت‌ها (۶۸). پس گابروها دارای بیشترین و گرانیت‌ها دارای کمترین پذیرفتاری

از آقای دکتر حبیب علی‌محمدیان، مسئول آزمایشگاه مغناطیس و محیط دیرین سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور و همچنین، خانم دکتر مریم شیبی که با راهنمایی‌های ارزشمند خود ما را در به‌بارنشستن این پژوهش و بهبود متن مقاله یاری کردند، سپاسگزاری می‌کنیم.

از آقای عبدالله گوانجی که با خودروی شخصی خود، بارها ما را در انجام بررسی‌های صحرائی و مغزه‌گیری همراهی و یاری کردند و زمینه را برای پوشش‌دادن یک شبکه نمونه‌برداری منسجم، متراکم و کامل روی توده گرانیتویدی ظفرقند فراهم کردند، سپاسگزاری می‌کنیم.

گفتنی است که آزمایشگاه نامبرده تنها آزمایشگاه تحقیقاتی در سطح دانشگاه‌های کشور است که به‌طور جدی در زمینه بررسی فابریک‌های مغناطیسی سنگ‌ها فعالیت دارد و به دانشگاه‌های دیگر (مانند دانشگاه تهران، دانشگاه بیرجند و دانشگاه هرمزگان) نیز در زمینه‌های مرتبط کمک کرده است. همچنین، این آزمایشگاه با آزمایشگاه مغناطیس و محیط دیرین سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور همکاری علمی نزدیکی دارد و از توانایی‌های متقابل یکدیگر بهره‌مند می‌شوند.

بررسی و اندازه‌گیری فابریک‌ها یا پارامترهای مغناطیسی یا به عبارت کلی روش AMS توانایی آن را دارد که در شاخه‌های گوناگون علوم زمین (مانند سنگ‌شناسی، زمین‌شناسی اقتصادی، زمین‌شناسی ساختمانی، زمین‌شناسی زیست‌محیطی، چینه‌شناسی مغناطیسی، رسوب‌شناسی) و همچنین، در زمینه علوم کشاورزی (مانند خاک‌شناسی) و نیز در زمینه اکتشافات معدنی و نفتی نیز کارآمد باشد. از این‌رو، این روش‌ها نیازمند توجه بیشتر و جدی‌تری هستند.

خوبی برای جایگزینی توده گرانیتویدی ظفرقند و توده‌های نفوذی همجوار دیگر (مانند: توده دیوریتی دورجین) پدید آزد. فضای باز پدیدآمده را می‌توان به‌صورت پیدایش یک پهنه کششی بازشونده (Pull apart basin) وابسته به رفتار سامانه گسلی قم-زفره توجیه و تفسیر کرد. هم‌راستابودن پهنه‌های تغذیه‌کننده ماگمایی با گسل ماربین- رنگان درستی این نکته را نشان می‌دهد. دایک‌های آندزیتی فراوانی که از سنگ‌های آتشفشانی و آتشفشانی- رسوبی منطقه جنوب‌خاوری ظفرقند می‌گذرند و بیشتر دارای روند شمال‌باختری- جنوب‌خاوری هستند، گواه دیگری برای درستی این پیشنهاد هستند.

سپاس‌گزاری

در اینجا لازم است از ریاست محترم دانشگاه صنعتی شاهرود، جناب آقای دکتر علی مرادزاده و معاونت محترم اداری و مالی، جناب آقای دکتر حبیب‌الله قاسمی (در بازه زمانی سال‌های ۱۳۸۵ تا ۱۳۸۸) که ما را در تجهیز آزمایشگاه ژئومغناطیس دانشکده علوم زمین دانشگاه صنعتی شاهرود یاری کردند صمیمانه سپاس‌گزاری می‌شود.

از همه دست‌اندرکاران مجله وزین علمی پترولوژی دانشگاه اصفهان، به‌ویژه سرکار خانم فریبا هادیان، سپاس‌گزاری می‌کنیم. خانم هادیان صبورانه، با رویی خوش در همه مراحل ارسال، پاسخ به دآوری مقاله و مکاتبات رایانه‌ای ما را راهنمایی کردند، جا دارد مراتب سپاس و تشکر ویژه خود را نسبت به ایشان ابراز داریم، از خداوند متعال بزرگی و عزت روزافزون وی را خواستاریم.

از داوران عزیز و گرامی که نکته‌ها و پیشنهادهای ارزشمندی را برای بهبود علمی و ادبی این مقاله یادآور شدند صمیمانه سپاس‌گزاری می‌کنیم.

منابع

- Alavi, M. (1994) Tectonic of the Zagros orogenic belt of Iran: new data and interpretations. *Tectonophysics* 229: 211–238.
- Amidi, S. M. (1975) Investigation on stratigraphy, petrology and geochemistry of magmatic rocks of Natanz – Nain – Surk region (Central Iran). PhD thesis. Science and medical university of Grenoble, France (in France)
- Amini, B. and Amini, R. (without year of publication) Geological map of Kajan 1:100000. Geological Survey of Iran, Tehran, Iran.
- Aslani, A. and Shekari, S. (2015) New analysis on the emplacement of Alvand granitoid, using the relationship between the dipping angle of magnetic lineation, foliation and their numerical magnitude. *Scientific Quarterly Journal of Geosciences* 25(98): 137-146 (in Persian).
- Aslani, A., Alimohammadian, H., Ghalamghash, J. and Nazari, H. (2015) Microstructural investigation of southern Alvand batholith using anisotropy of magnetic susceptibility (AMS). *Scientific Quarterly Journal of Geosciences* 24(94) 137-146 (in Persian).
- Badallo, S. (2012) Investigation on the emplacement mechanism of the Gol - e- Zarde granitoidic pluton (north of Aligoudarz) by AMS method. MSc thesis, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran (in Persian).
- Badllou, S., Sadeghian, M., Shebi, M., Ramazani Omali, R. and Shekari, S. (2010) Investigation of variations of anisotropy of magnetic susceptibility in Gol-E - Zard pluton, NW Aligodarz. 29th Symposium of Geosciences, Tehran (in Persian).
- Bouchez, J. L. (1997) Granite is never isotropic: an introduction to AMS studies in granitic rocks. In: *Granite: from segregation of melt to emplacement fabrics* (Eds. Bouchez, J. L., Hutton, D. H. W. and Stephens, W. E.) 95-112. Kluwer, Dordrecht.
- Bouchez, J. L., Delas, C., Gleizes, G. and Ne'delec, A. (1992) Submagmatic microfractures in granites. *Geology* 20: 35-38.
- Chekany, M., Sadeghian, M., Alimohammadian, H. and Shekari, S. (2013) Magnetic mineralogy of Mafic-intermediate dikes cut Delbar metamorphic- igneous complex, Biarjmand. 16th Symposium of Geological Society of Iran, Shiraz (in Persian).
- Ferre, E. C., Bordarier, C. and Marsh, J. S. (2002) Magma flow inferred from AMS fabrics in a layered mafic sill, Insizwa, South Africa. *Tectonophysics* 354: 1-23.
- Gavanji, N. (2010) Investigation on the emplacement mechanism of the south of Zafarghand (Ardestan) granitoidic pluton by AMS method. MSc thesis, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran (in Persian).
- Gavanji, N., Sadeghian, M., Ghasemi, H. and Ramazani Omali, R. (2009) Determination of emplacement mechanism of Avanj granitoidic pluton (SE of Ardestan) by Anisotropy of magnetic susceptibility (AMS) method. 3th speciality Symposium of Payam Nour University, Esfahan, Iran (in Persian).
- Ghaffari, M. (2010) Petrology and geochemistry of Zafarghand granitoidic pluton (SE Ardestan). MSc thesis, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran (in Persian).
- Ghalamghash, J. (2002) Petrology and emplacement of Urumieh-Oshnavieh plutons. PhD thesis, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran (in Persian).
- Hamidi, M., Mirzaei Suzani, M., Sadeghian, M. and Alimohammadian, A. (2013) Magnetic fabric and mode of emplacement of Hassan-Robat granitoid. 32nd and the 1st International Geosciences Congress (Basic Geology – Mashhad), Pluton (in Persian).

- Hibbard, M. J. (1987) Deformation of incompletely crystallized magma system, granite gneisses and their tectonic implications. *Journal of Geology* 95: 543-561.
- Horsman, E., Tikoff, B. and Morgan, S. (2005) Emplacement-related fabric and multiple sheets in the Maiden Creek sill, Henry Mountains, Utah, USA. *Journal of Structural Geology* 27: 1426-1444.
- Khalatbari Jafari, M. and Alaei Mehabadi, S (Without year of publication) Geological map of Natanz 1:100000. Geological Survey of Iran, Tehran, Iran.
- Latifi, R. (2000) Study of geology, petrology, petrography and geochemistry of intrusions in southern and northern West Zafarghandi. MSc thesis, University of Isfahan, Isfahan, Iran (in Persian).
- Mardani, M., Sadeghian, M., Shekari, S., Badllou, S. (2010) Investigation of variations of anisotropy of magnetic susceptibility in Azna granitoid pluton. 29th Symposium of Geosciences, Tehran (in Persian).
- Martín-Hernández, F. C., Luneburg, C., Aubourg, M. and Jackson, M. (2004) Magnetic fabric: methods and applications. Geological Society of London, London.
- McBirney, A. R. and Murase, T. (1984) Rheological properties of magmas. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences* 12: 337-357.
- Mirzaei Suzani, M., Mohajjel Kafshdouz, M., Alimohammadian, A., Hamidi, M., Alizadeh Sabouri, F. (2013) Surveying of Magnetic Parameters and petrofabric of Northern Alvand Pluton. 32nd and the 1st International Geosciences Congress (Basic Geology – Mashhad) (in Persian).
- Mohajjel, M. and Proohan, N. (2005) Geometry and kinematics of the Qom-Zefreh Fault system and its significance in transpression tectonics. *Scientific Quarterly Journal of Geoscience* 56: 72-83 (in Persian).
- Mohammadi, M., Sadeghian, M., Sheibi, M. and Shekari, S. (2015) Recognition of structural parameters of shear zones by using of magnetic parameters (in the light of AMS). 19th symposium of geological society of Iran and 9th National Symposium of Payam Nour, Tehran, Iran (in Persian).
- Paterson, S. R., Vernon, R. H. and Toshiba, O. T. (1989) A reviews for the identification of magmatic and tectonic foliations in granitoids. *Journal of Structural Geology* 2(3): 349-363.
- Radfar, J. (1998) Geological map of Ardestan 1:100000. Geological Survey of Iran, Tehran, Iran.
- Radfar, J. (without year of publication) Geological map of Kashan 1:100000. Geological Survey of Iran, Tehran, Iran.
- Radfar, J. (without year of publication) Geological map of Kashan 1:250000. Geological Survey of Iran, Tehran, Iran.
- Sadat Razavi, R., Sadeghian, M., Ghasemi, H. and Shekari, S. (2010) Investigation of magma flow (or distribution) in andesibasaltic dike by using of AMS method (case study: north of Davarzan), 4th National Symposium of Payam Nour university, Mashhad, Iran (in Persian).
- Sadeghian, M. (2004) Magmatism, metallogeny and emplacement mechanism of Zahedan granitoid pluton. PhD thesis, University of Tehran, Tehran, Iran (in Persian).
- Sadeghian, M. and Ghaffary, M. (2011) The petrogenesis of Zafarghand granitoid pluton (SE of Ardestan). *Petrology* 2(6): 47-70 (in Persian).
- Sadeghian, M. and Shekari, S. (2013) The investigation of anisotropy of magnetic susceptibility (AMS) and the emplacement mechanism of Darreh Bagh granitoid pluton (NW Aligoudarz). *Petrology* 4(15): 55-76 (in Persian).
- Sadeghian, M. and Shekari, S. (2015) Petrogenesis & tectonic setting of Darreh Bagh granitoid pluton (NW Aligoudarz). *Scientific Quarterly Journal of Geosciences* 25(97): 407-420 (in Persian).

- Sadeghian, M., Bouchez, J. L., Nédélec, A., Siqueira, R. and Valizadeh, M. V. (2005) The granite pluton of Zahedan (SE Iran): a petrological and magnetic fabric study of a syntectonic sill emplaced in a transtensional setting. *Journal of Asian Earth Sciences* 25: 301–327.
- Sadeghian, M., Gavanji, N. and Shekari, S. (2014) Investigation of variations of anisotropy of magnetic susceptibility (AMS) in Zafarghand granitoid pluton (SE Ardestan). *Petrology* 4(14): 65-78 (in Persian).
- Sadeghian, M., Sheibi, M. and Badallo, S. (2014) The emplacement mechanism of the Gol - e- Zard granitoidic pluton, north of Aligoudarz, west of Iran, by of AMS method. *Scientific Quarterly Journal of Geosciences* 23(92): 129-142 (in Persian).
- Saki, S. and Sadeghian, M. (2014) The Emplacement mechanism of Bouin-Miandasht granitoid pluton (Sanandaj- Sirjan zone, West Iran): An application of AMS method. *Journal of Tethys* 2(4): 327–346.
- Saki, S., Sadeghian, M. and Ghasemi, H. (2015) Interpretation of magnetic fabrics based on variations of anisotropy of magnetic susceptibility (AMS) in Bouin-Miandasht granitoid pluton. *Scientific Quarterly Journal of Geosciences* 25(98): 385-394 (in Persian).
- Sheibi, M. (2009) Petrology, geochemistry and emplacement mechanism of granitoid batholith of Shir-Kuh (SW-Yazd). PhD thesis, University of Tehran, Tehran, Iran (in Persian).
- Sheibi, M. and Majidi, P. (2015) Emplacement mechanism of the Challu granitoidic pluton using magnetic fabric method, southern Damghan. *Scientific Quarterly Journal of Geosciences* 24(96): 87-98 (in Persian).
- Sheibi, M. and Pooralizadeh Moghadam, M. (2015) Emplacement mechanism of the Panj - Kuh granitoid pluton using magnetic fabric method. *Scientific Quarterly Journal of Geosciences* 24(96): 117-128 (in Persian).
- Sheibi, M., Mirnejad, H. and Pooralizadeh Moghadam, M. (2016) Magnetic susceptibility anisotropy as a predictive exploration tool of metasomatic Iron oxide deposits: Example from the Panj - Kuh iron ore body, NE Iran. *Ore geology reviews* 71-1: 612-628.
- Shekari, S. (2012) Investigation of the emplacement mechanism of Darreh Bagh granitoidic pluton (NW Aligoudarz) by using anisotropy of magnetic susceptibility (AMS) method. MSc thesis, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran (in Persian).
- Shekari, S., Sadeghian, M., Ramazani Omali, R. and Shebi, M. (2010) Investigation of relation between anisotropy of magnetic susceptibility and lithological composition in Darreh-Bagh granitoid pluton. 29th Symposium of Geosciences, Tehran (in Persian).
- Tarling, D. H. and Hrouda, F. (1993) *The magnetic anisotropy of rocks*. Chapman & Hall, London.
- Zahedi, M. and Amidi, S. M. (1975) Geological map of Kashan 1:250000. Geological Surevy and Minning Exploration of Iran, Iran.