



تفسیر نقشه‌های مغناطیسی در محدوده معدنی اسبخان، استان آذربایجان شرقی

نیما یادگاری^{۱*}، سید غفور علوی^۱، محسن موید^۱
^۱ گروه علوم زمین، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز
Nima.yadegari7@yahoo.com

چکیده

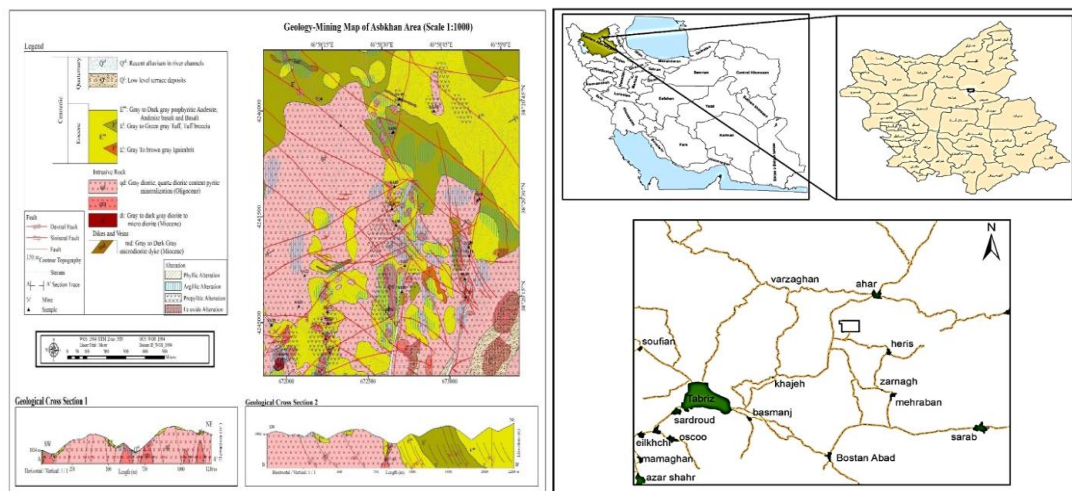
محدوده مورد مطالعه در جنوب رشته کوه قوش‌آداغ، در شمال روستای اسبخان، شهرستان هریس و در استان آذربایجان شرقی واقع شده است. این محدوده از نظر زمین‌شناسی ساختاری ایران، در پهنه اصلی ایران مرکزی و زیر پهنه البرز - آذربایجان قرار دارد. واحدهای زمین‌شناسی منطقه، شامل سنگ‌های آذرین و آذرآواری ائوسن با ترکیب آندزیتی، تراکی‌آندزیتی، بازالتی، توفی و ایگنمبریتی است. توده نفوذی نیمه عمیق با سن الیگوسن، با ترکیب کوارتز دیوریت، دیوریت و کوارتز مونزونیت به صورت استوک و دایک در منطقه رخنمون دارد. در تفسیر نقشه‌های مغناطیسی محدوده مورد مطالعه از دو روش کیفی و کمی استفاده گردید. در روش کیفی با استفاده از نقشه‌های مغناطیسی از جمله نقشه شدت کل میدان، نقشه مشتق قائم، نقشه ادامه فراسو و میدان مغناطیسی از لحاظ شدت و ضعف بررسی شد و گسترش جانبی، عمق نسبی بی‌هنجاری‌ها، گسل‌های احتمالی و مناطق مهم از نظر اکتشاف مشخص شد. در روش کمی، ناهنجاری‌های مورد توجه به صورت عددی مورد محاسبه قرار گرفت و مشخصات ناهنجاری از قبیل عمق، جنس، شکل شیب و گسترش بررسی گردید.

واژه‌های کلیدی: ژئوفیزیک، مغناطیس‌سنجی، نقشه‌های مغناطیسی، اسبخان



۱. مقدمه

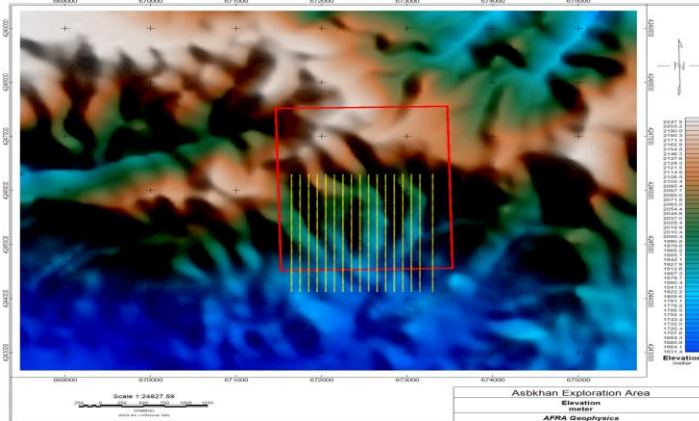
کمر بند فلزایی ارسباران در شمال غربی ایران واقع بوده و شامل مناطقی از جمله اهر، کلیبر، ورزقان، سیه رود و بخش های از شمال و غرب مشکین شهر است. برخی زمین شناسان این کمر بند را ادامه قفقاز کوچک در نظر می گیرند که با روند شمال غرب-جنوب شرق وارد ایران می شود [۱]. عده ای آن را بخشی از زون ارومیه-دختر در نظر می گیرند [۲] و عده ای دیگر آن را کمر بند ماگمایی مجزا در نظر می گیرند که از البرز تا شمال شرق ترکیه کشیده شده است [۳، ۴ و ۵]. این کمر بند دارای برون زده های گسترده ای از رسوبات فیلیسی پالئوسن و سنگ های آذرین آتشفشانی و درونی ائوسن تا میوسن است. ماگماتیسیم سنوزوییک که از ائوسن آغاز می شود عمدتاً آتشفشانی است که اغلب ماهیت اسیدی و حد واسط دارند. از ائوسن بالایی تا میوسن، فعالیت آذرین بیشتر به شکل توده های نفوذی بروز می کند که با کانی سازی و دگرسانی گسترده ای همراه است [۶]. بخش های وسیعی از سنگ های ماگمایی به ویژه سنگ های آتشفشانی و آذرآوری آن دگرسان شده اند [۷]. توالی سنگ های مطالعه شده در این پهنه شامل دو دوره اصلی الیگوسن پسین - میوسن پیشین است [۸]. منطقه اسبخان به مختصات جغرافیایی ۱۵° ۵۷' ۴۶" تا ۲۳° ۵۹' ۴۶" طول شرقی و ۱۵° ۱۹' ۳۸" الی ۲۱° ۴۸' ۳۸" عرض شمالی، در ۲۵ کیلومتری شمال غرب شهر هریس در استان آذربایجان شرقی، شمال غرب ایران واقع است (شکل ۱). قدیمی ترین رخنمون تشکیلات سنگی منطقه اسبخان مربوط به سنگ های آهکی ائوسن است. این سنگ های رسوبی شیمیایی توسط رخنمون های سنگی چون آندزیت، تراکی آندزیت، بازالت، توف و ایگنمبریت ائوسن همراهی می شود. واحدهای سنگی الیگوسن در منطقه اسبخان شامل سنگ های آذرین درونی با ترکیب سنگ شناسی کوارتز دیوریت، کوارتز مونزونیت پورفیری و دیوریت می باشد که توسط مارن ها، ماسه سنگ ها و کنگلومراهای الیگومیوسن پوشیده شده اند (شکل ۲). مطالعات ژئوفیزیک به روش مغناطیس سنجی برای شناسایی ساختارهای مغناطیس در محدوده معدنی اسبخان در استان آذربایجان شرقی انجام شد تا با در اختیار داشتن این اطلاعات ساختارهای زیرسطحی محدوده معدنی بهتر شناسایی گردد و با استفاده از این داده ها دانش بهتری از تغییرات زیرسطحی زمین و موقعیت کانی سازی در منطقه به دست آید.



شکل ۱: راه های دسترسی به محدوده اسبخان. شکل ۲: نقشه زمین شناسی محدوده اسبخان در مقیاس ۱:۱۰۰۰ با تغییرات برگرفته از مراجع [۹ و ۱۰]

نحوه پیاده سازی نقاط و برداشت داده ها

با توجه به هدف مطالعاتی برای برداشت اطلاعات در محدوده معدنی مورد نظر ایستگاه های برداشت با فاصله پروفیلی ۱۰۰ متر و فاصله نقاط ۲۰ متر طراحی شد. با توجه وجود آنومالی مغناطیسی در جنوب منطقه و ادامه توده نفوذی در بخش جنوبی طراحی عملیات مقداری به سمت جنوب ادامه دار طراحی شد تا در اطلاعات بخش جنوبی نیز در اختیار باشد و آنومالی احتمالی جنوبی به صورت کامل برداشت گردد. در (شکل ۳) طراحی ایستگاه برداشت در محدوده مطالعاتی نمایش داده شده است. حجم عملیات صحرایی مغناطیس سنجی در منطقه در (جدول ۱) آورده شده است.



شکل ۳. نمایش خطوط برداشت اطلاعات مغناطیس‌سنجی در محدوده معدن. جدول ۱. حجم عملیات صحرایی مغناطیس‌سنجی در منطقه

| نام محدوده | تعداد ایستگاه | فاصله پروفیلی (m) | فاصله ایستگاهی (m) | آزیموت برداشت (درجه) |
|------------|---------------|-------------------|--------------------|----------------------|
| اسبخان | ۱۸۴۰ | ۱۵۰ و ۱۰۰ | ۲۰ | ۰ |

دامنه تغییرات خودپذیری مغناطیسی بر روی دو رخنمون از منطقه که تفاوت بالای خودپذیری را احتمالاً به خاطر میزان دگرسانی نشان می‌دهند متفاوت ثبت شده است که دو نوع متفاوت که مقادیر مختلفی را نتیجه داده‌اند در (شکل ۴) نشان داده شده است. و خودپذیری مغناطیسی متفاوت در (جدول ۲) آورده شده است.



شکل ۴. خودپذیری مغناطیسی بر روی دو رخنمون از منطقه که تفاوت بالای خودپذیری را احتمالاً به خاطر میزان دگرسانی نشان می‌دهند.

جدول ۲. خودپذیری مغناطیسی بر روی رخنمون‌های مختلف

| شماره نمونه | خودپذیری | طول جغرافیایی | عرض جغرافیایی |
|-------------|----------|---------------|---------------|
| ۱ | ۱,۹ | ۶۷۲۸۵۸ | ۴۲۴۵۲۲۴ |
| ۲ | ۰,۱۱۱ | ۶۷۲۶۳۹ | ۴۲۴۴۵۸۸ |
| ۳ | ۲۲,۲ | ۶۷۲۶۵۰ | ۴۲۴۴۸۹۱ |
| ۴ | ۶۳,۲ | ۶۷۲۶۸۰ | ۴۲۴۴۹۲۸ |
| ۵ | ۰,۳۶۲ | ۶۷۲۶۹۲ | ۴۲۴۵۱۷۹ |
| ۶ | ۰,۳ | ۶۷۳۱۸۹ | ۴۲۴۵۲۶۸ |



۲. پردازش داده‌ها

پس از اتمام اندازه‌گیری‌های صحرائی، اطلاعات جمع‌آوری شده به بخش پردازش تحویل شد و اطلاعات با استفاده از نرم‌افزارهایی مانند Montaj Oasis مورد پردازش قرار گرفت و نقشه‌های نهایی تهیه گردیدند. در این مطالعه به دلیل تغییرات بالایی که در فواصل ۲۰ متری در داده‌های مغناطیسی ایجاد شد در چندین مرحله صحت تغییرات با تکرار برداشت‌ها و همچنین کم کردن فاصله نقاط برداشت آزموده شد تا اطمینان حاصل شود که تغییرات دقیقاً مرتبط با تغییرات میدان مغناطیسی زمین است. در این راستا در یک منطقه که دارای تغییرات بالا بود چند نقطه روی زمین علامت‌گذاری شد و در روی این نقاط در زمان‌های مختلف اطلاعات مغناطیسی برداشت گردید و دیده شد که در تمامی تکرارها اطلاعات یکسانی به دست می‌آید و تنها تغییرات مربوط به تغییرات روزانه میدان در برداشت‌های مختلف است. با توجه به آزمون انجام شده در این پروژه از ابزار پردازشی درون‌یابی خطی با استفاده از Refid استفاده شد که با این عملیات تعداد ایستگاه‌ها بدون تغییر ماهیت اطلاعات چندین برابر شد تا بتوانیم فیلترها را با کیفیت بهتر روی اطلاعات اعمال کنیم. مراحل پردازش مقدماتی به شرح زیر می‌باشند.

۳. تفسیر و شرح نقشه‌ها

در تفسیر نقشه‌های محدوده مورد مطالعه از دو روش کیفی و کمی استفاده گردید. در روش کیفی با استفاده از نقشه‌های مغناطیسی از جمله نقشه شدت کل میدان، نقشه مشتق قائم، نقشه ادامه فراسو و میدان مغناطیسی از لحاظ شدت و ضعف بررسی می‌شود و گسترش جانبی و عمق نسبی بی‌هنجاری‌ها و گسل‌های احتمالی مشخص می‌گردد و مناطق مهم از نظر اکتشاف تشخیص داده می‌شود. در روش کمی، ناهنجاری‌های مورد توجه به صورت عددی مورد محاسبه قرار می‌گیرد و مشخصات ناهنجاری از قبیل عمق، جنس (خود پذیری مغناطیسی) و شکل شیب و گسترش در صورت وجود سایر اطلاعات اکتشافی بررسی می‌گردد.

۱،۳. نقشه شدت کل میدان مغناطیسی (TMI)

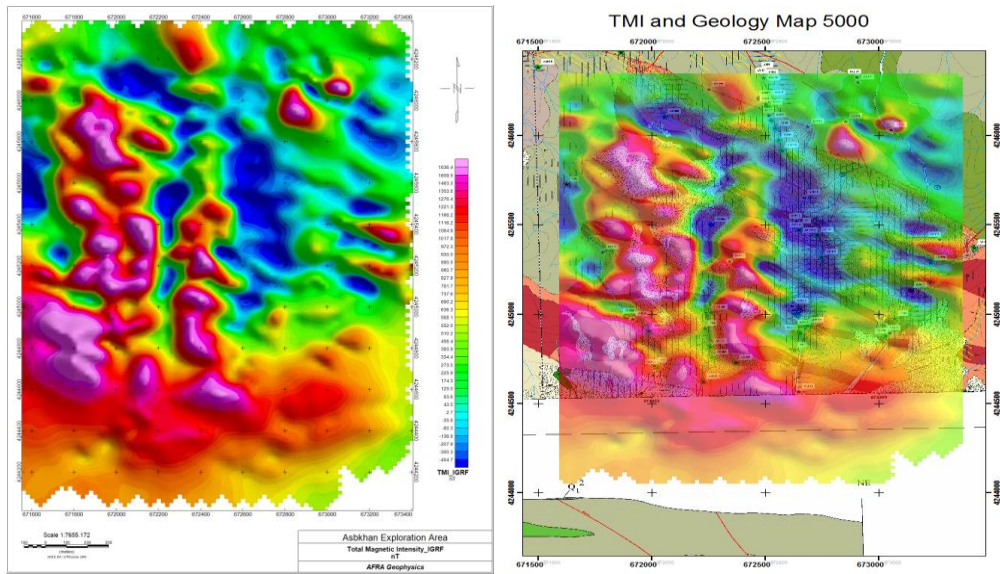
منشأ میدان مغناطیسی زمین، در هسته قرار گرفته است. مقدار این میدان در استوا حدود ۳۰۰۰۰ نانوتسلا (گاما) و در قطب‌ها به ۶۰۰۰۰ گاما می‌رسد. یعنی از استوا به قطب افزایش پیدا می‌کند و شکل آن خیلی شبیه به میدان دو قطبی است. این میدان در سنگ‌های پوسته زمین یک میدان ثانویه ایجاد می‌کند.

با حذف IGRF سعی بر این است تا حد امکان میدان اصلی زمین (هسته) حذف شده و فقط میدان ثانویه باقی بماند. در منطقه مورد مطالعه به دلیل وسعت کم محدوده، تصحیح IGRF تاثیری بر روی داده‌ها نمی‌گذارد و بنابراین می‌توان از نقشه شدت میدان مغناطیسی کل، در تحلیل‌ها استفاده کرد. نکته مهم این است که در اکتشاف کانسارهای مگنتیتی به علت بالا بودن مقدار این کانی در سنگ، بی‌هنجاری‌ها بسیار بارز بوده و از شدت بالایی برخوردار هستند، بنابراین راحت‌تر تشخیص داده می‌شوند. اما همراه با بالا رفتن آهن در سنگ، فیزیک مسئله پیچیده شده و تحلیل‌های عددی با مشکل مواجه می‌شود و عدم قطعیت تحلیل‌ها بیشتر می‌شود. اطلاعات آماری مربوط به اطلاعات مغناطیسی در محدوده برداشت در (جدول ۳) آورده شده است و همان‌گونه که دیده می‌شود توده نفوذی موجود در منطقه موجب ایجاد تغییرات بالای مغناطیسی در منطقه شده است. در (شکل ۵) نقشه شدت کل میدان برداشت شده بر روی نقشه زمین‌شناسی ۵۰۰۰ منطقه نمایش داده شده است تا موقعیت واحدهای زمین‌شناسی نسبت به نقشه مغناطیسی در اختیار باشد. در (شکل ۶) نقشه شدت میدان کل بعد از حذف IGRF برای محدوده مطالعاتی نشان داده شده است. در جنوب محدوده یک رینگ با خاصیت مغناطیسی بالا وجود دارد که این محدوده باید مطابق با آنومالی مشاهده شده در اطلاعات ۷،۵ کیلومتر باشد و در جنوب این آنومالی حضور ندارد و نشان می‌دهد که توده نفوذی در سمت جنوب در سطح و عمق امتداد ندارد. مضاف بر آن دو روند آنومالی‌های مغناطیسی در راستای شمالی جنوبی منطبق بر توپوگرافی منطقه در روی اطلاعات دیده می‌شود و همچنین یک منطقه حلالی شکل که افت شدید خاصیت مغناطیسی را نشان می‌دهد که می‌تواند حاصل گسلش و دگرسانی در این محدوده باشد.



جدول ۳. اطلاعات آماری میدان مغناطیسی در محدوده برداشت شده

| محدوده | بیشینه میدان مغناطیسی کل (nT) | کمینه میدان مغناطیسی کل (nT) | بیشینه میدان مغناطیسی باقی مانده (nT) | کمینه میدان مغناطیسی باقیمانده (nT) |
|--------|-------------------------------|------------------------------|---------------------------------------|-------------------------------------|
| اسبخان | ۴۷۰۷۸,۴ | ۵۳۰۴۴,۶ | ۳۷۶۳,۴۳ | -۱۶۴۷,۱۱ |

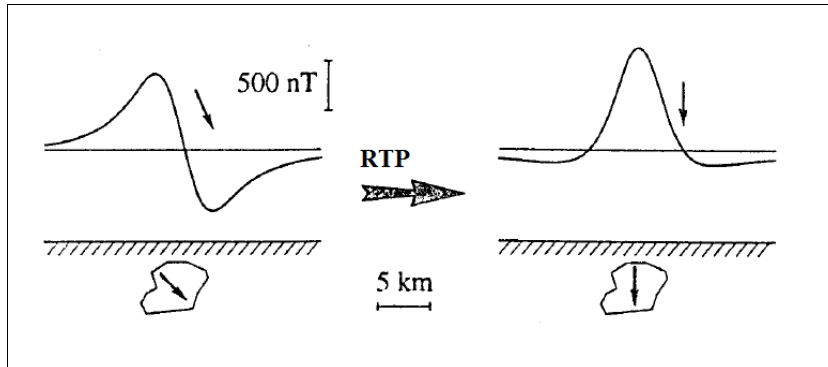


شکل ۵. نمایش نقشه میدان مغناطیسی کل روی نقشه زمین شناسی ۵۰۰۰ محدوده. شکل ۶. نقشه شدت میدان مغناطیسی کل (TMI) بعد از حذف IGRF

۲,۳. نقشه برگردان به قطب (RTP)

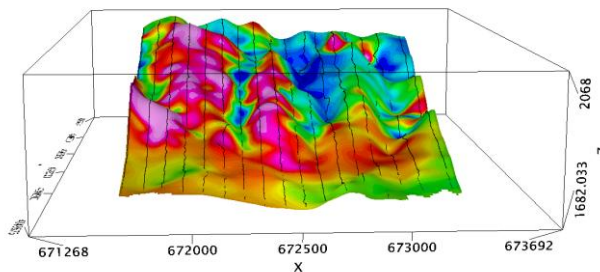
به طور کلی ماهیت آنومالی‌های مغناطیسی دو قطبی است و منشأ ایجاد کننده آنومالی حدوداً در وسط این دو قطب قرار می‌گیرد. این پدیده یکی از عوامل پیچیدگی تحلیل نقشه‌های مغناطیسی می‌باشد. برای حل این مشکل فیلتر برگردان به قطب (RTP) جهت بردن آنومالی به قطب شمال استفاده می‌شود. در قطب شمال مغناطیسی زمین بردار مغناطیسی به صورت قائم وارد زمین می‌شود که این باعث می‌شود که قطب مثبت رشد کرده و درست در بالای منشأ ایجاد کننده خود قرار گرفته و قطب منفی تحلیل رفته و به حواشی آنومالی مهاجرت کند (شکل ۷). بنابراین یک درجه از پیچیدگی‌های نقشه شدت کل آنومالی کم شده و محل منشأهای مغناطیسی منطبق بر قطب‌های مثبت می‌شود البته فرض مبنایی در این فیلتر این است که میدان مغناطیسی توده منشأ کاملاً هم جهت با میدان زمین (به دست آمده از IGRF) می‌باشد.

از دیگر کاربردهای این فیلتر می‌توان به تعیین محل تقریبی زون‌های کانه زایی با استفاده از محل ماکزیمم آنومالی‌ها اشاره کرد. در نقشه برگردان به قطب در این محدوده‌ها به خوبی بافت مغناطیس بالا مربوط به کانی سازی احتمالی هماتیت مگنتیت را نشان داده و محل‌هایی که خودپذیری مغناطیسی افزایش یافته در محل اصلی خودشان نشان داده شده‌اند.



شکل ۷. تغییر شکل آنومالی بعد از تبدیل برگردان به قطب.

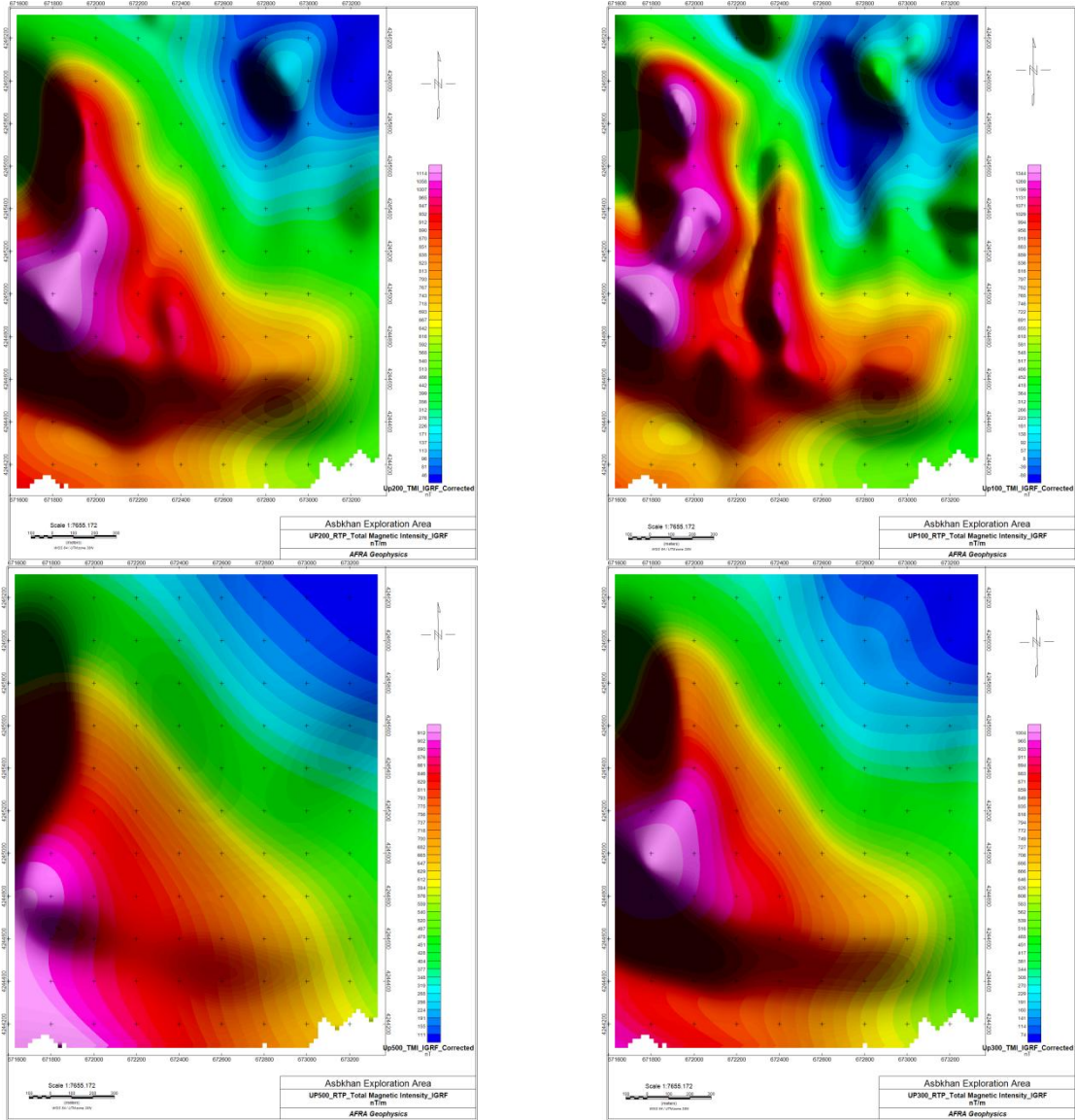
(شکل ۸) نقشه شدت میدان مغناطیسی کل پس از انتقال به قطب مغناطیسی (RTP) مربوط به محدوده مطالعاتی را نشان می‌دهند. همان‌طور که مشاهده می‌شود، در نقشه‌های RTP، عملاً مرکز توده مغناطیسی در زیر بیشینه مقدار میدان قرار می‌گیرد؛ به همین دلیل تفسیر و تحلیل‌ها ساده‌تر می‌شود.



شکل ۸. نقشه میدان مغناطیسی محدوده مطالعاتی پس از برگردان به قطب (RTP) بر روی توپوگرافی منطقه

۳.۳. نقشه‌های گسترش به بالا (Upward Continuation: UP)

جهت بررسی ناهنجاری‌های عمیق و تضعیف ناهنجاری‌های سطحی، سطح برداشت داده‌ها به ارتفاع‌های بالاتر از سطح برداشت انتقال داده می‌شود، این کار باعث تقویت طول موج‌های بلند و تضعیف طول موج‌های کوتاه می‌شود و باعث می‌شود ناهنجاری‌های عمیق نمود بیشتری پیدا کنند. بنابراین با اعمال این فیلتر می‌توان اطلاعاتی (کیفی) مفیدی از گسترش عمقی منشأ به دست آورد. برای بررسی کیفی عمق منشأهای ناهنجاری، سطح برداشت داده‌ها به ۴ ارتفاع ۱۰۰، ۲۰۰، ۳۰۰ و ۵۰۰ متر منتقل شد. بررسی یکپارچه نقشه‌های فراسو دید بسیار مناسبی از نحوه گسترش آنومالی‌های مغناطیسی در عمق می‌دهد. در (شکل ۹) نقشه‌های میدان مغناطیسی پس از فراسوی ۱۰۰، ۲۰۰، ۳۰۰ و ۵۰۰ متر را برای محدوده مطالعاتی نشان می‌دهد. همان‌طور که در این شکل مشاهده می‌شود در نقشه ادامه فراسو در ارتفاعات بالا تنها آنومالی موجود در سمت جنوب غربی باقی می‌ماند و دیگر آنومالی‌ها حذف می‌شوند و این رخداد مطابق آنومالی اطلاعات هوابرد ۷،۵ کیلومتر است.



شکل ۹. نقشه‌های شدت میدان مغناطیسی محدوده مطالعاتی پس از فراسوی ۱۰۰، ۲۰۰، ۳۰۰ و ۵۰۰ متر

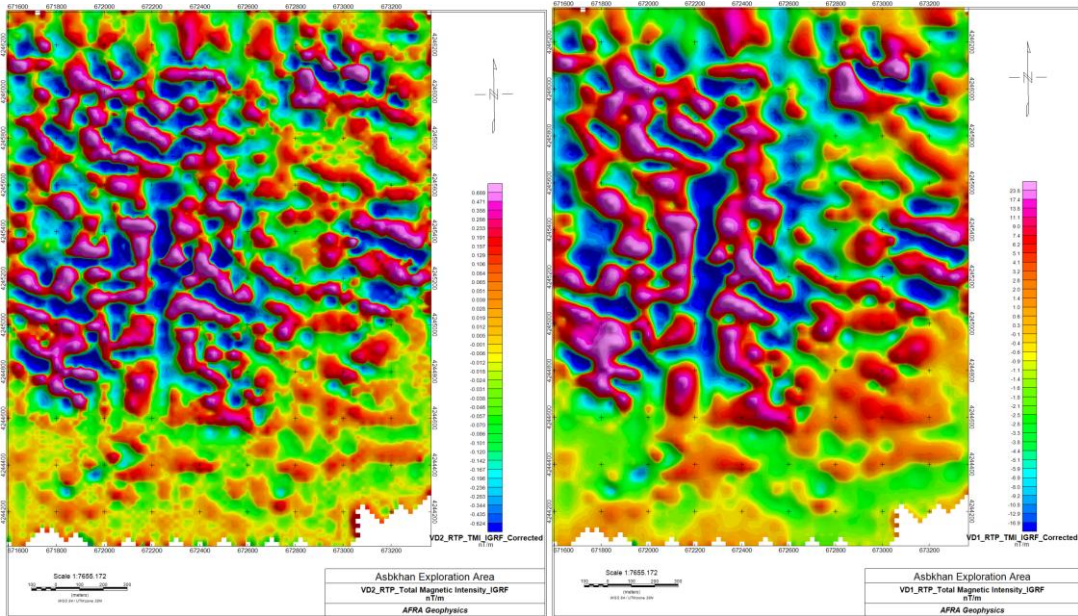
۴.۳. نقشه مشتق اول قائم

فیلتر مشتق قائم برای تقویت ناهنجاری‌های سطحی و کم عمق تر و تضعیف بی‌هنجاری‌های عمیق از جمله پی‌سنگ‌های منطقه است، در برداشت‌های زمینی نیز برای اکتشاف مواد معدنی در بعضی موارد از اهمیت بالایی برخوردار است. از جمله کاربردهای آن تعیین مرز منشأهای مغناطیسی و جدایش میدان زمینه از بی‌هنجاری‌ها می‌باشد.

(شکل ۱۰) نقشه مشتق قائم اول میدان مغناطیسی مربوط به محدوده مورد مطالعه را نشان می‌دهند. همان‌طور که در این نقشه‌های مشاهده می‌شود مرز محدوده آنومالی‌های سطحی با وضوح بیشتری قابل‌شناسایی و ردیابی است. از آنجایی که فیلتر مشتقات قائم نسبت به آنومالی‌های سطحی تر (نسبت به آنومالی‌های عمیق سنگ بستر) حساسیت بیشتری دارند بنابراین طبق انتظار مرز آنومالی‌ها بسیار بارز و مشخص شده است. در تمامی محدوده‌های مورد مطالعه از این فیلتر جهت تعیین مرز آنومالی و لیتولوژی استفاده گردید و در مراحل



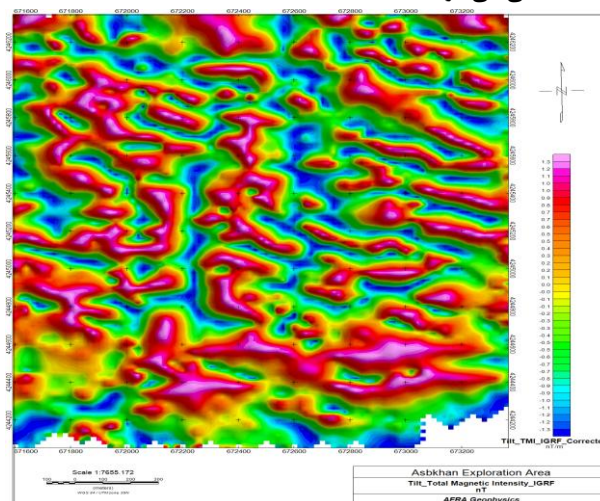
تفسیری از نتایج آن استفاده گردیده است. از نقشه برگردان به قطب نیز می توان جهت تعیین مرز آنومالی ها استفاده نمود ولی این فیلتر به علت اینکه از مشتقات استفاده می کند دقیق تر می باشد.



شکل ۱۰. نقشه مشتق اول قائم (vd1) حاصل از داده های RTP، نقشه مشتق اول قائم (vd2) حاصل از داده های RTP

۵.۳. نقشه زاویه بین مشتقات (Tilt)

فیلتر Tilt زاویه بین مشتقات افقی و قائم را محاسبه می کند [۱۱]. این فیلتر ابزار مناسبی برای شناسایی لبه ها و ساختارها می باشد. این فیلتر در مرحله محاسبه بیشتر از اطلاعات ساختاری عمیق تر نسبت به فیلتر مشتقات استفاده می کند. به طور کلی بر روی RTP اعمال می شود و نتایج مؤثری به منظور شناسایی موقعیت آنومالی های مغناطیسی ارائه می دهد. (شکل ۱۱) نقشه مشتق تیلت مربوط به محدوده مطالعاتی را نشان می دهد. مطابق این نقشه ها ساختارهای محدوده بارز شده و به راحتی قابل ترسیم هستند. از این نقشه در کنار نقشه های دیگر ساختارها ترسیم و صحت سنجی می شوند.



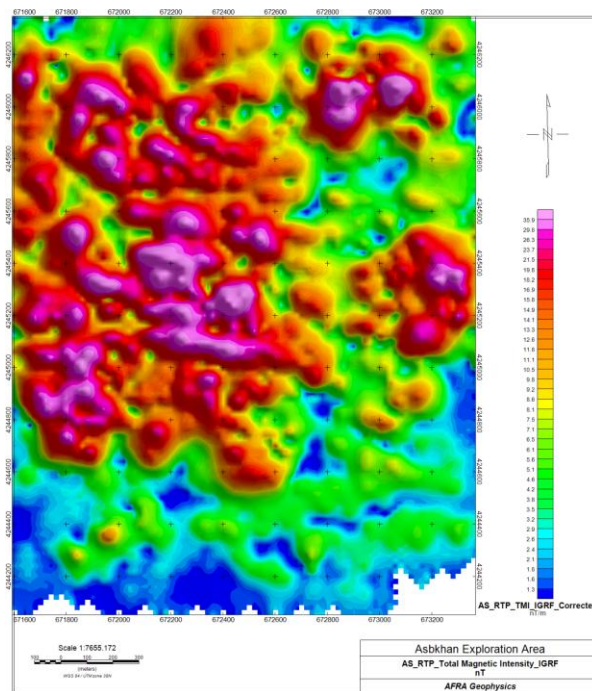
شکل ۱۱. نقشه زاویه بین مشتقات (Tilt) حاصل از داده های RTP محدوده مطالعاتی



با توجه به اینکه گسلش در منطقه ارتباط زیادی با کانی سازی دارد ترسیم گسل‌ها کمک فراوانی به تفسیر و استخراج موقعیت کانی سازی در محدوده دارد، در واقع گسل‌ها محیط‌های مناسب جهت تزریق توده در محدوده و جابجایی کانی سازی هستند.

۶,۳. نقشه سیگنال تحلیلی (AS)

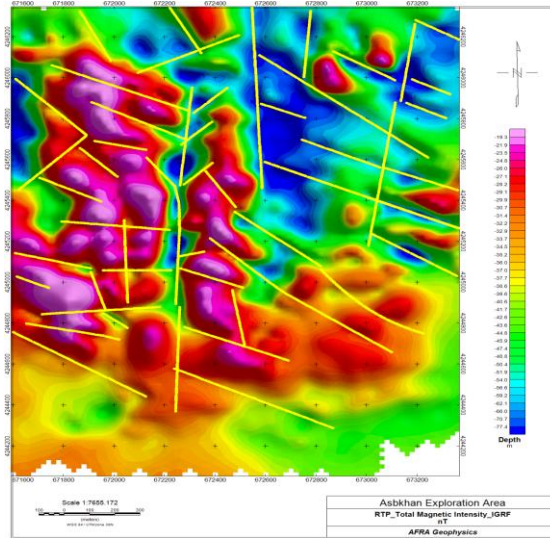
تکنیک سیگنال تحلیلی یکی از فیلترهای مهم در تحلیل داده‌های پتانسیل (مغناطیس و گرانی) می‌باشد و به صورت تابعی از توان دوم مشتقات افقی و قائم تعریف می‌شود. در این فیلتر مرز منشأهای مغناطیسی بر نقاط ماکزیمم نقشه سیگنال تحلیلی منطبق است. از مزیت‌های این فیلتر این است که مستقل از مشخصات مغناطیدگی توده منشأ و همچنین مشخصات میدان مغناطیسی زمین در منطقه (زوایای شیب و انحراف) می‌باشد (شکل ۱۲) نقشه سیگنال تحلیلی میدان مغناطیسی محدوده مورد مطالعه را نشان می‌دهد. با توجه به این موضوع که فیلتر سیگنال تحلیلی در مقابل مسئله مغناطیس بازماند مقاوم می‌باشد بنابراین دقیق‌ترین نقشه برای پیک‌های بی‌هنجاری مغناطیسی می‌باشد.



شکل ۱۲. نقشه سیگنال تحلیلی میدان مغناطیسی محدوده مطالعاتی

۷,۳. ساختارهای مغناطیسی

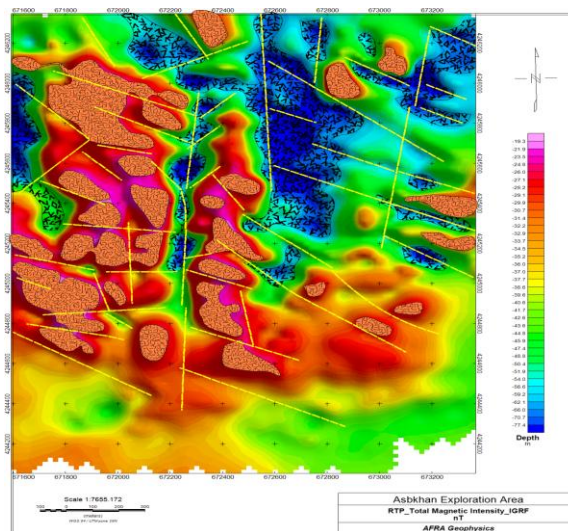
اطلاعات مغناطیس‌سنجی ابزار مفیدی جهت به نقشه درآوردن ساختارهای سطحی و زیرسطحی هستند در نقشه‌های مغناطیسی شکستگی‌ها و جابجایی‌ها به خوبی قابل شناسایی بوده و آثار خطی از خود بجا می‌گذارند. در نقشه‌های مشتق مانند VDI، VD2 و زاویه Tilt به خوبی این خطواره‌ها مشخص می‌شوند و مفسر با انطباق آنها با اطلاعات جانبی ماهواره‌ای و نقشه‌های زمین‌شناسی گسل‌ها را تشخیص می‌دهد. ابزارهایی مانند Auto Mag در نرم‌افزار Encom Pa توانایی تخمین شیب گسل‌ها را در عمق دارد. در این مطالعه سعی گردید خطواره‌های مغناطیسی ترسیم شوند تا گسل‌هایی که با کانی سازی در ارتباط هستند مشخص شده و بتوان از آنها استفاده نمود. در (شکل ۱۳) نقشه خطواره‌های مغناطیسی در محدوده مورد مطالعه مطالعاتی نشان داده شده است. در هر دو محدوده احتمالاً گسلش به همراه دگرسانی باعث از بین بردن خواص مغناطیس واحدهای مختلف شده است.



شکل ۱۳. نقشه ساختاری محدوده مورد مطالعاتی بر پایه اطلاعات مغناطیسی

۸.۳. آنومالی‌های مغناطیس در محدوده

سنگ‌های مختلف قبل از انجماد کامل (دمای کوری) جهت یافتگی مغناطیسی در جهت شار میدان مغناطیسی زمین پیدا می‌کنند. در واقع مواد فرو مغناطیس داخل سنگ‌ها جهت یافتگی مغناطیسی پیدا کرده و در جهت میدان مغناطیسی قرار می‌گیرند و هرچه مواد فرو مغناطیس بیشتری داشته باشند شدت کل مغناطیسی بیشتری از خود نشان می‌دهند. در محدوده مطالعاتی توده‌های نفوذی موجود در منطقه توالی از خاصیت مغناطیسی را مرتبط با مورفولوژی منطقه نشان می‌دهد. همچنین در کل منطقه یک آنومالی مغناطیس با شدت بالا در جنوب غرب مشاهده می‌شود که این آنومالی عمق بالایی دارد و یک رینگ با خاصیت مغناطیسی پایین در شما منطقه که دقیقاً با دگرسانی رخداد در محدوده منطبق است مشاهده می‌شود. دگرسانی و گسلش موجود در این محدوده می‌تواند نشان مثبتی برای وجود کانی سازی در این منطقه باشد. در (شکل ۱۴) نقشه خطواره‌های مغناطیسی به همراه دامین‌های مغناطیسی بالا با خاصیت مغناطیسی بالا و پایین نشان داده شده است که در این دامین‌ها می‌توانند راهنمای مناسبی برای طراحی عملیات در مراحل بعدی برای مطالعات ژئوفیزیک دیگر باشند.



شکل ۱۴. نقشه آنومالی‌های مغناطیسی محدوده مطالعاتی



۴. تفسیر کمی

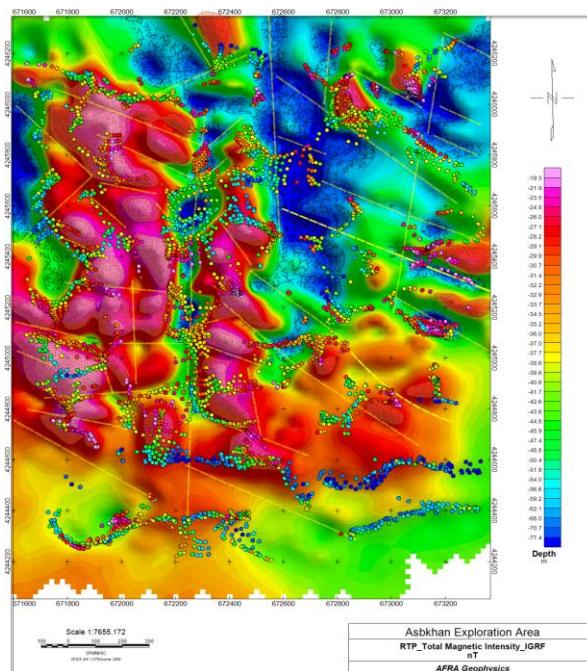
۱.۴. تخمین عمق بی‌هنجاری‌های مغناطیسی با روش اویلر (Euler Deconvolution)

هدف از این روش تخمین عمق سقف آنومالی‌های مغناطیسی در محدوده مورد مطالعه می‌باشد. از آنجایی که روش اویلر بر اساس طول موج سیگنال‌های دریافتی از منشأ کار می‌کند، بنابراین در حد کلی قادر به تخمین عمق است.

۲.۴. تئوری روش اویلر

به منظور تخمین عمق بی‌هنجاری‌های موجود در منطقه مورد مطالعه، تخمین عمق به روش واهمامیخت اویلر انجام شد. معادله اویلر را می‌توان به صورت زیر بیان کرد:

به منظور اعمال روش اویلر بر روی داده‌های منطقه مورد بررسی از نرم‌افزار Geosoft Oasis Montaj 8.0.2 استفاده شد. پس از آماده‌سازی نقشه میدان باقیمانده، نقشه‌های مشتقات میدان مغناطیسی در سه جهت (x,y,z) که تهیه آن لازمه اجرای فرایند واهمامیخت اویلر است، تهیه شدند. همچنین برای اعمال فرآیند اویلر نیاز به اندیس ساختاری و اندازه پنجره حل اویلر است. برای دستیابی به پاسخ‌های مناسب، شاخص‌های ساختاری به صورت پیش فرض به مسئله داده می‌شود و شاخص ساختاری صحیح‌تر شاخصی در نظر گرفته می‌شود که اولاً بیشترین خوشه‌بندی را در پاسخ‌ها داشته باشد، یعنی پاسخ‌های با عمق یکسان مجاور هم باشند و ثانیاً در مناطقی که از لحاظ آماري بی‌هنجاری وجود ندارد، تعداد نقاط حل اویلر کمینه باشد [۱۲]. از آنجا که هیچ دید مناسبی از اعماق زمین وجود ندارد برای رسیدن به اندیس ساختاری مناسب، باید اعداد مختلف اندیس ساختاری، مورد آزمایش قرار گیرند. البته قابل ذکر است که بر اساس نقشه‌های مختلف میدان مغناطیسی محدوده‌های مورد مطالعه روند آنومالی مورد نظر بیشتر شبیه دایک بوده و بنابراین می‌توان گفت که اندیس ساختاری این ۱ می‌تواند انتخاب مناسبی برای پارامتر شکل آنومالی‌ها در کل منطقه باشد. در (شکل ۱۵) نتایج تخمین عمق به روش اویلر بر روی نقشه RTP برای محدوده مطالعاتی نشان داده شده است. نتایج این تخمین عمق در نقاط مختلف نقشه با دایر رنگی توپر مشخص شده‌اند. عمق بی‌هنجاری‌های مغناطیسی نیز در همین شکل در مناطق مختلف به تصویر کشیده شده است. توجه نمایید که در این شکل، راهنمای رنگی برحسب عمق بوده و نماینده عمق دایر رنگی نمایش داده شده بر روی نقشه می‌باشد.



شکل ۱۵. نمایش نقاط تخمین عمق به روش اویلر بر روی نقشه RTP، در محدوده مطالعاتی



نتیجه گیری

مطابق با مطالعات ژئوفیزیکی، اطلاعات مغناطیسی در محدوده مطالعاتی در برخی مناطق تغییرات زیادی را از خود نشان می‌دهد که این عامل نشان دهنده آن است که توده نفوذی موجود در محدوده، قبل از دچار شدن به دگرسانی و خردشدگی خاصیت مغناطیسی بالایی داشته است و عوامل ثانویه باعث شده است تا از مقدار خاصیت مغناطیسی کاسته شود و در برخی موارد تهی شدگی مغناطیسی حادث شده است. تهی شدگی مغناطیسی یک نشانه مثبت برای ره‌گیری دگرسانی و کانی‌سازی مورد نظر در این منطقه است که این تهی شدگی‌ها در مناطق مختلف در کنار مناطقی که خاصیت مغناطیسی بالایی دارد نمایش داده شده‌اند. تهی شدگی مغناطیسی در این محدوده هم‌روند با گسل‌های شمالی جنوبی بوده و یک حاله یا بخشی از یک رینگ را در بخش شمالی منطقه نشان می‌دهد، این تهی شدگی باید برای مطالعات IP/RS مورد توجه قرار گرفته شود.

منابع

- [1] Innocenti, F., Mazzuoli, R., Pasquare, G., Radicati di Brozolo, F. and Villari, L., 1982- Tertiary and quaternary volcanism of the Erzurumkars area (Eastern Turkey): geochronological data and geodynamic evolution, *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 13, 223-240
- [2] Hezarkhani, A., 2006- Petrology of the intrusive rocks within the Sungun porphyry copper deposit, Azerbaijan, Iran, *Journal of Asian Earth Sciences*, 27(3), 326-340.
- [3] Dilek, Y., Imamverdiyev, N. and Altunkaynak, S., 2010- Geochemistry and tectonics of Cenozoic volcanism in the Lesser Caucasus (Azerbaijan) and the peri-Arabian region: collision-induced mantle dynamics and its magmatic fingerprint, *International Geology Review*, 52(4-6), 536-578.
- [4] Dercourt, J.E, Zonenshain, LP, Ricou, LE, Kazmin, V. G., Le Pichon, X., Knipper, A.L., Grandjacquet, C., Sbertshikov, I.M., Geysant, J., Lepvrier, C., Pechersky, D.H., 1986- Geological evolution of the Tethys belt from the Atlantic to the Pamirs since the Lias, *Tectonophysics*, 123(1-4): 241-315.
- [5] Alavi, M., 2007- Structures of the Zagros fold-thrust belt in Iran. *American Journal of science*, 307(9), 1064-1095.
- [6] Jamali, H., Dilek, Y., Daliran, F., Yaghubpur, A. and Mehrabi, B., 2010- Metallogeny and tectonic evolution of the Cenozoic Ahar-Arasbaran volcanic belt, northern Iran, *International Geology Review*, 52(4-6), 608-630.
- [7] Ghorbani, M., 2013- A summary of geology of Iran, In *The Economic Geology of Iran*, Springer, Dordrecht, 45-64.
- [8] Jamali, H. & Mehrabi, B., 2015- Relationships between arc maturity and Cu-MO-Au porphyry and related epithermal mineralization at the Cenozoic Arasbaran magmatic belt. *Ore Geology Review* 31, 123-138.
- [9] Simmonds V., Calagari A. A., Kyser K., "Fluid inclusion and stable isotope studies of the Kighal porphyry Cu-Mo prospect, East- Azarbaïdjan, NW Iran", *Arabian Journal of Geosciences* 8 (2015) 473-453.
- [10] Simmonds V., Moazzen M., "Re-Os dating of molybdenites from Oligocene Cu-Mo-Au mineralized veins in the Qarachilar area, Qaradagh batholith (northwest Iran): Implications for understanding Cenozoic mineralization in South Armenia, Nakhchivan, and Iran", *International Geology Review* 57 (2015) 290-304.
- [11] Miller, D. M., S. L. Goldstein. and C. H. Langmuir, cerium/Lead and lead isotope ratios in arc magmas and the enrichment of lead in the continents, *Nature*, 368,514-520, 1994.
- [12] Beiki, M., 2010, Analytic signals of gravity gradient tensor and their application to estimate source location: *Geophysics*, 75(6), I59-I74.