

عملیات مغناطیس‌سنجی کانسار تیتانیوم - فسفات قره آغاج ارومیه

غلامحسین نوروزی

دانشیار گروه مهندسی معدن - دانشکده فنی - دانشگاه تهران

مهدی زمردیان

فارغ التحصیل کارشناس ارشد گروه مهندسی معدن - دانشکده فنی - دانشگاه تهران

(تاریخ دریافت ۸۰/۲/۲۲، تاریخ تصویب ۸۱/۴/۱۵)

چکیده

کانسار تیتانیوم - فسفات قره آغاج در ۳۶ کیلومتری شمال غربی ارومیه واقع شده است. تشکیل این کانسار در ارتباط با توده های نفوذی مافیک - اولترا مافیک منطقه می باشد. مهمترین سنگ های منطقه که کانی سازی در آن صورت گرفته، از نوع ورلیت و دیوریت است. علاوه بر این دو نوع تیپ سنگ، میکروگرانودیوریت، گابرو، گنیس، آمفیبولیت و ... نیز در منطقه تشکیل شده است. براساس نتایج مطالعات ژئوفیزیکی (مغناطیس‌سنجی) و اطلاعات زمین شناسی حفر سه گمانه در منطقه پیشنهاد شده است. بر پایه اطلاعات حاصل از دو گمانه حفر شده و نتایج حاصل از نمونه های برداشت شده جهت اندازه گیری خود پذیری مغناطیسی سعی شده است با تلفیقی از کلیه اطلاعات، محل های مناسب گمانه های بعدی معرفی شوند.

واژه‌های کلیدی: تیتانیوم، ورلیت، قره آغاج، میدان مغناطیسی، خودپذیری مغناطیسی

مقدمه

امروزه برداشت های مغناطیسی به دلیل هزینه کم و کارایی آن یکی از روشهای اصلی ژئوفیزیکی در اکتشاف معادن و تحلیل ساختار تکتونیکی و زمین شناسی ساختمانی، می باشد. با این وجود در مناطقی که سنگ های آذرین بازیک و اولترابازیک در عمق کم و یا در سطح پراکنده شده اند، نقشه های آنومالی حاصل دارای هنجاری پیچیده می باشند که تفسیر آنها را با مشکل مواجه می کند. برای تفسیر بهتر این نقشه ها می توان از فیلترهای مناسب مانند گسترش و مشتق استفاده کرد. این فیلترها عمدتاً برای جداسازی آنومالی های منطقه ای و محلی و نیز آنومالیهای ادغام شده در یکدیگر، به دلیل نزدیکی آنها به یکدیگر مورد استفاده قرار می گیرند.

به دو راهی روستای اشکه سو رسیده، سپس جاده خاکی اشکه سو را به سمت شمال ادامه داده و پس از طی فاصله ۶ کیلومتر، راه خاکی اتومبیل رو، به روستای قره آغاج می رسیم.

زمین شناسی منطقه

منطقه مورد مطالعه در زون خوی - مهاباد قرار داشته و دارای اختصاصات لیتولوژیکی زونهای ساختمانی ایران مرکزی، سنندج - سیرجان و البرز - آذربایجان (در حقیقت محل تلاقی این سه زون) می باشد. مهمترین مجموعه سنگی موجود در محدوده مورد مطالعه که کانه زایی تیتانیوم و فسفات نیز در ارتباط با آن روی داده است، نفوذیهای آذرین، موسوم به مجموعه نفوذی مافیک - اولترامافیک قره آغاج می باشد. این مجموعه پلوتونی به داخل سنگهای دگرگونی پرکامبرین و سنگهای رسوبی پالئوزوئیک از جمله پرمین نفوذ کرده است. براساس مطالعات پتروگرافی و شیمیایی، مجموعه نفوذی قره آغاج، عمدتاً از سنگهای اولترابازیک با ترکیب ورلیتی و دیوریت های دگرسان شده گابرو تا گابرودیوریت و به مقدار کمتر از میکرودیوریت و رگه های کوارتز -

کانسار تیتانیوم - فسفات قره آغاج

موقعیت جغرافیایی و راههای دسترسی

منطقه قره آغاج در طول جغرافیایی ۵۵' ۴۴° شرقی و عرض جغرافیایی ۴۶' ۳۷° شمالی و در ۴۶ کیلومتری شمال غرب شهرستان ارومیه واقع شده است. دسترسی به محدوده مورد مطالعه از مسیر آسفالت ارومیه - سرو صورت می گیرد. در این مسیر پس از گذر از نازلو

برداشتها به صورت میانگین از سه قرائت برای هر ایستگاه و در بعضی اوقات تا پنج قرائت به صورت صلیبی در اطراف ایستگاه، همراه با زمان برداشت در فرمهای مخصوص ثبت گردید. تغییرات روزانه شدت کل میدان مغناطیسی مربوط به ایستگاه مبنا در فرم جداگانه ای جهت کنترل و تصحیح روزانه یادداشت شد.

پردازش داده های خام، تهیه آنومالی مغناطیسی اولیه و تفسیر آن

تحلیل نقشه شدت میدان کلی مغناطیسی (Q-02)

الف - تحلیل تکتونیکی و زمین شناسی ساختمانی

باتوجه به نقشه تهیه شده، سه انفصال به وضوح مشاهده می شود. دو انفصال که یک آنومالی با شدت پایین در بین آنومالی های شدت بالا در مرکز محدوده و در امتداد شمال غربی - جنوب شرقی به چشم می خورد. انفصال سوم در امتداد شمال شرقی - جنوب غربی و در شمال غرب محدوده، مشاهده می شود. در طرفین این انفصال نیز یک میدان مغناطیسی با شدت پایین و دیگری با شدت بالا وجود دارد. می توان این گونه انفصالات و به خط شدگی های میدان را به گسلها نسبت داد. با نگاهی به نقشه زمین شناسی منطقه مورد مطالعه می توان به این نتیجه رسید که این انفصالات دقیقاً بر گسلهای منطقه منطبق هستند. بر روی نقشه شدت کل میدان مغناطیسی این گسلها نشان داده شده است.

ب - تحلیل زمین شناسی معدنی

تمرکز عمده محدوده آنومالی های شدت بالا در قسمت غرب و محدوده های کوچکی در شمال شرق منطقه مورد مطالعه است. باتوجه به نقشه زمین شناسی منطقه مشاهده می شود که این محدوده ها منطبق بر سنگهای ورلیتی مربوط به توده های نفوذی قره آغاج است که کانی سازی های تیتانیوم - فسفات در ارتباط با آن صورت گرفته است. در این قسمتها عیار تیتانیوم (کانی ایلمنیت و تیتانومینیتیت) و آهن (مینیتیت) در مقایسه با محدوده های دیگر بیشتر شده است. مقدار کانی سازی در مناطق با شدت متوسط میدان کاهش یافته است. از نظر زمین شناسی و سنگ شناسی این قسمتها عمدتاً منطبق بر دیوریت های آلتره شده می باشند.

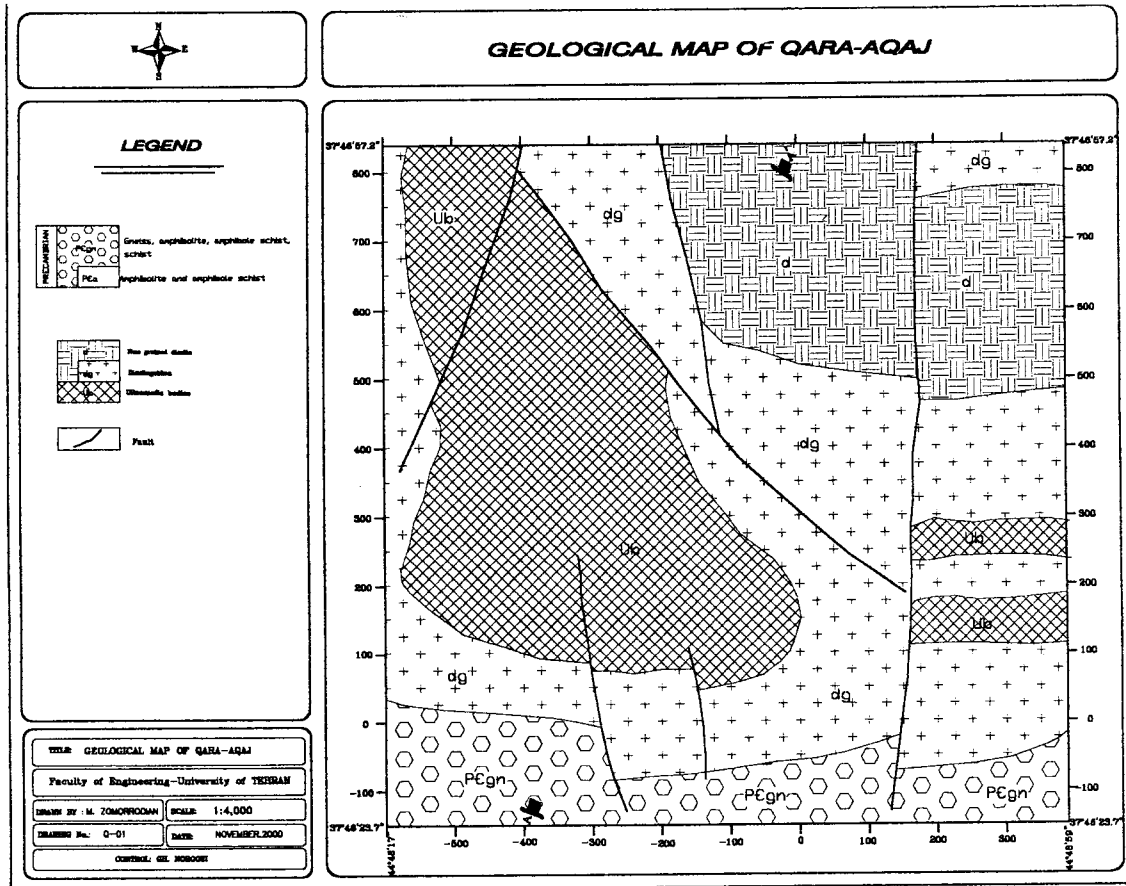
فلدسپاتی که مجموعاً از ماگمای واحدی سرچشمه گرفته اند، تشکیل یافته است. فرآیندهای مختلفی همچون ناآمیختگی مایعات، تفریق و تبلور، پالایش فشاری و متاسوماتیسم در مراحل انتهایی در تشکیل مجموعه نفوذی و کانسنگهای تیتانیوم - فسفات همراه آن نقش اساسی داشته اند. گرایش آلکالن سنگهای مذکور و بالا بودن مقدار مقدار تیتانیوم، فسفر و آهن، آنها را با فعالیتهای ماگمایی داخل قاره انطباق می دهد. بنابراین رژیم تکتونیکی حاکم بر تشکیل این سنگها از نوع کششی و احتمالاً ریفتی بوده است.

مطالعات مینرالوگرافی و کانی شناسی همراه با آنالیزهای شیمیایی نشان می دهد که شدت کانی زایی در سنگهای اولترابازیک در مقایسه با سنگهای بازیک دگرسان شده بالا بوده و بنابراین واحد اولترابازیکی (ورلیت) بعنوان سنگ میزبان کانی زایی، در نظر گرفته می شود. ایلمنیت و تیتانومینیتیت فراوان ترین کانی های تیتانیوم دار منطقه می باشند.

عیار متوسط TiO_2 در پرعیارترین بخش کانسنگ حدود ۹/۴ درصد و کم عیارترین بخش آن ۶/۷۶ درصد تعیین شده است. در توده های دیوریت گابرویی دگرسان شده میانگین TiO_2 و P_2O_5 به ترتیب برابر با ۴/۳ درصد و ۱/۱۶ درصد است. در نقشه (Q-01) وضعیت زمین شناسی منطقه نشان داده شده است.

برداشت های ژئوفیزیکی

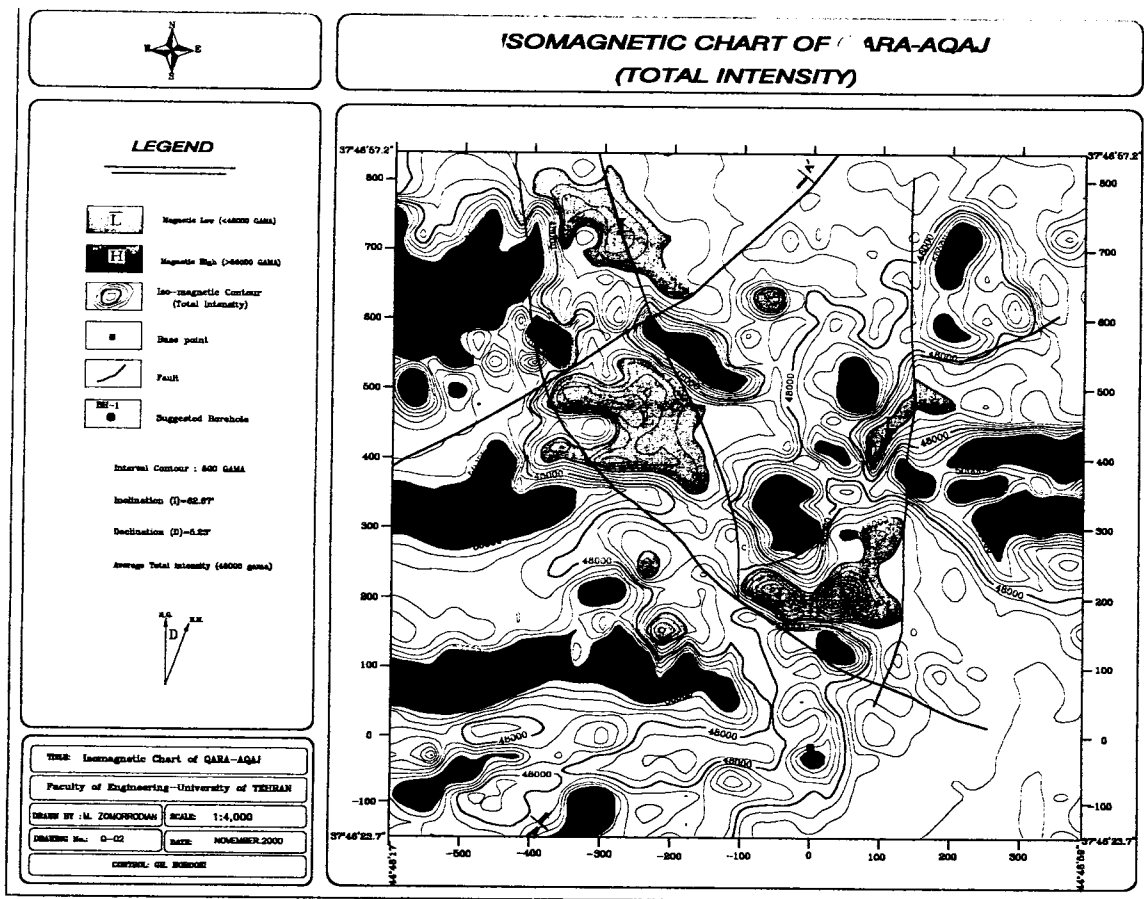
در طراحی شبکه برداشت میدان مغناطیسی منطقه قره آغاج حداکثر تعداد نقاط برداشت، ۱۲۰۰ نقطه و وسعت منطقه یک کیلومتر مربع در نظر گرفته شده بود. باتوجه به اینکه شکل کانسار تیتانیوم قره آغاج بصورت توده ای معرفی شده بود و امتداد خاصی برای کانسار وجود نداشت، شکل شبکه برداشت بصورت مربعی با فواصل ایستگاهی ۳۰ متر تعیین گردید ($S = 30$). یکی از ویژگیهای این شبکه مطرح نبودن امتداد قرارگیری شبکه در سطح زمین است. اندازه گیری میدان مغناطیسی توسط دستگاههای مگنتومتر پروتونی موجود در گروه مهندسی معدن دانشکده فنی (Gemetrics395) که میدان کلی را اندازه گیری می کند، انجام پذیرفت. کلیه



شکل Q-01: نقشه زمین شناسی قره آغاج ارومیه.

شدت میدان مغناطیسی دارد. براساس آنومالیهای مغناطیسی شدت بالا (H)، تعداد ۵ نقطه برای حفاری اکتشافی پیشنهاد گردیده که بر روی نقشه Q-02 با BH-1 تا BH-5 نشان داده شده است. پس از تلفیق اطلاعات ژئوفیزیکی، زمین شناسی و ژئوشیمیایی در نهایت دو گمانه Br-1 و Br-2 حفر شده است که طبعاً از نظر مکانی با نقاط پیشنهادی ژئوفیزیک تفاوتی دارد، اگر چه این تفاوتها زیاد نیست. بعنوان مثال نقطه حفاری Br-1 حدود ۲۰ متر با نقطه پیشنهادی ژئوفیزیک اختلاف فاصله دارد.

در مناطقی که با شدت میدان مغناطیسی پایین مشخص شده اند مقدار کانی سازی به حداقل خود رسیده است و شاید بتوان گفت که کانی سازی در این محدوده صورت نگرفته است و همچنین مقدار منیتیت سنگهای آن نیز کاهش یافته باشد. با در نظر گرفتن نقشه زمین شناسی میتوان به این نتیجه رسید که این آنومالیها منطبق بر دیوریت گابروهای لایه ای شکل غنی از آمفیبول، پلاژیوکلاز و کلینوپیروکسن می باشند. بنابراین می توان چنین خاطر نشان کرد که شدت بالای مغناطیسی در منطقه گرچه با کانی سازی تیتانیوم ارتباط مستقیم دارد، ولی افزایش مقدار منیتیت نیز سهم بسزایی در بالا رفتن



شکل Q-02 : نقشه میدان کلی مغناطیسی قره آجاج ارومیه.

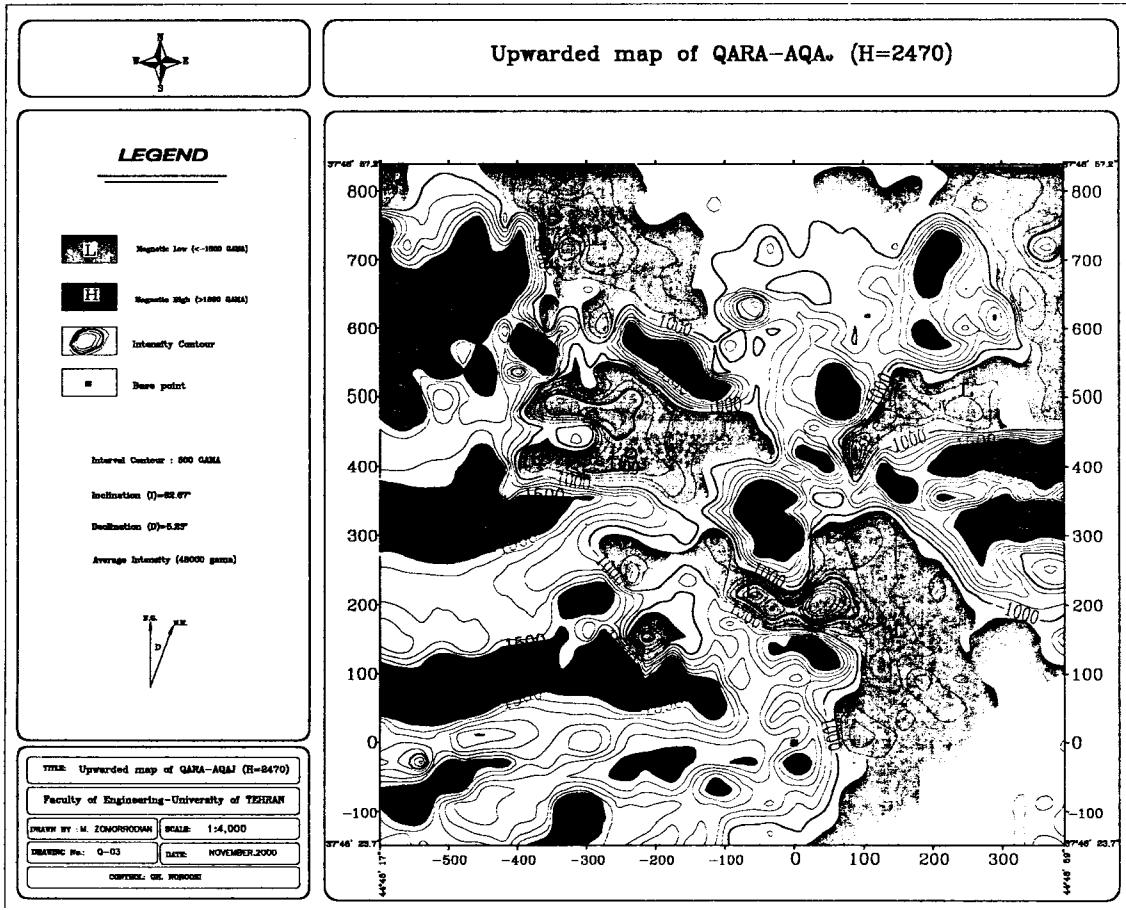
امتداد شمالی - جنوبی مشاهده می شوند. در منتهی الیه شرق منطقه یک قسمت تقریباً کوچک با شدت متوسط ۴۰۰۰ گاما (میدان باقیمانده) مشاهده می شود که منطبق بر توده های دیوریتی می باشد. در این توده ها نیز کانی سازی رخ داده است ولی مقدار کانی سازی چندان بالا نمی باشد. می توان نتیجه گرفت که تنه اصلی کانسار در سه قسمت جداگانه در قسمت غربی منطقه می باشد. نقشه زمین شناسی منطقه نیز این نکته را به اثبات می رساند. بنابراین مناطق با شدت میدان کل بیشتر از ۵۰۰۰۰ گاما نشان دهنده بخش مرکزی و اصلی تنه کانسار می باشد.

بررسی مقاطع زمین شناسی و ژئوفیزیکی (Q-04)

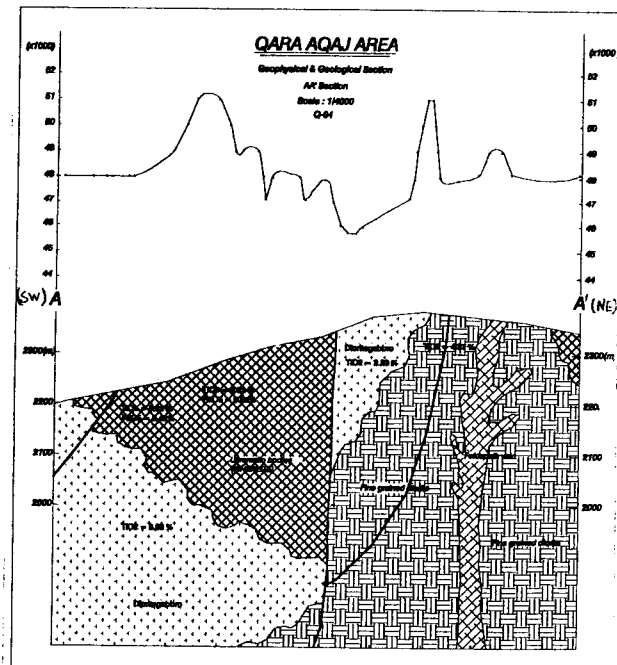
از روی نقشه زمین شناسی منطقه مقطعی تهیه گردید و سپس شدت میدان همان مقطع با استفاده از

تحلیل نقشه گسترش به بالا (Q-03)

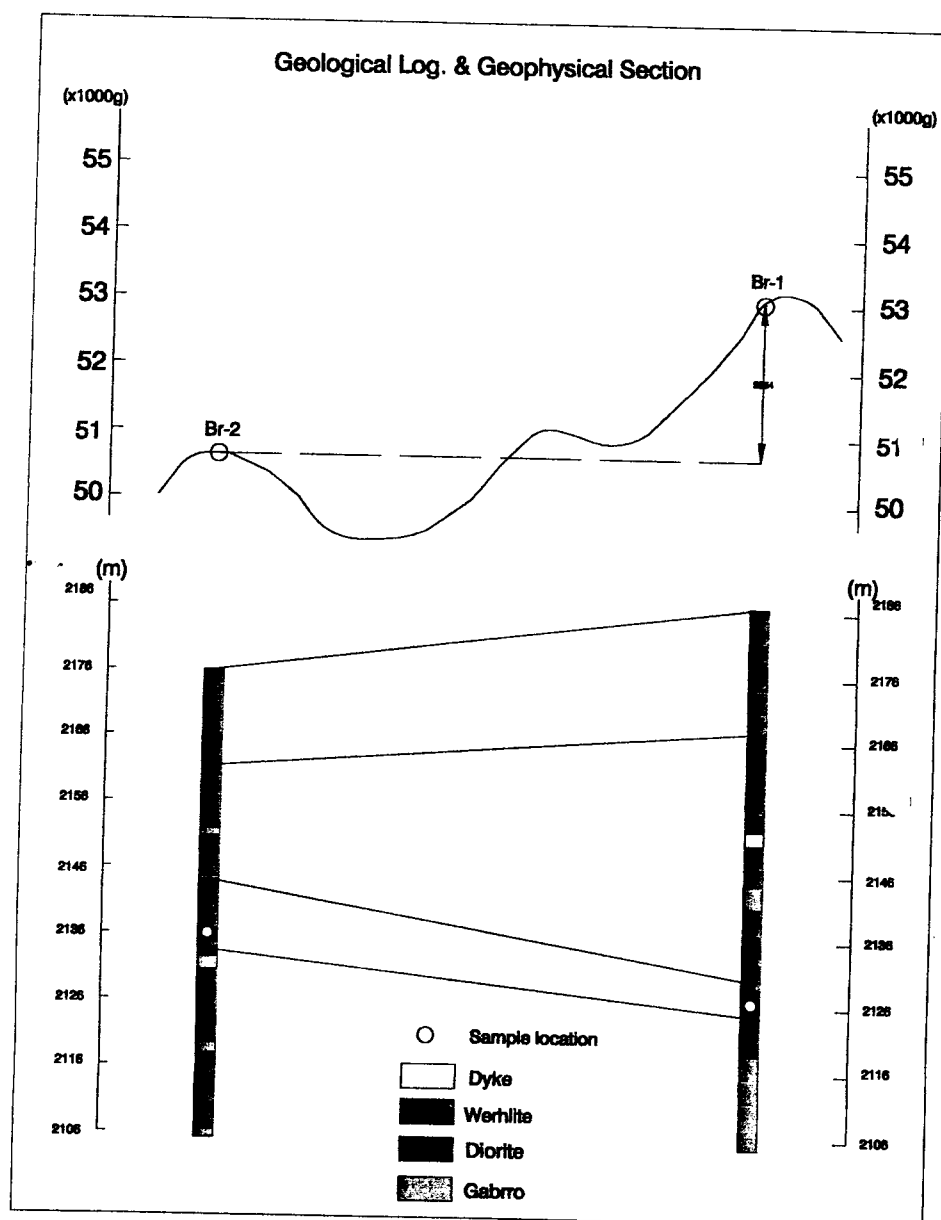
تغییرات کل میدان مغناطیسی منطقه هیچگونه ارتباط قابل توجهی با تغییر توپوگرافی منطقه نشان نمی دهد بنابراین انجام تصحیحات توپوگرافی چندان مورد نیاز نمی باشد. ولی به جهت حصول اطمینان، نقشه های گسترش به بالا در ارتفاعات مختلف تهیه گردید (پردازش ها بر روی شدت میدان باقیمانده منطقه انجام شده است). بهترین نتیجه مربوط به نقشه گسترش به بالا در ارتفاع ۲۴۷۰ متر (۶۰ متر بالاتر از مرتفع ترین نقطه) بوده است در مقایسه با نقشه باقیمانده میدان مغناطیسی، هیچ تفاوتی در نقشه های دیگر گسترش به بالا ایجاد نشده است ولی در نقشه Q-03 وسعت مناطق با شدت بالا کاهش و مناطق با شدت پایین افزایش یافته است. گسترش عمده آنومالیهای شدت بالا همچنان در سمت غرب منطقه مورد مطالعه و در سه قسمت جداگانه و با



شکل Q-03: نقشه گسترش بطرف بالا (ارتفاع ۲۴۷۰ متر) در منطقه قره آجاج ارومیه.



شکل Q-04: مقطع زمین شناسی AA' و تغییرات میدان مغناطیسی در بالای آن.



شکل Q-05: لاگ زمین شناسی در چاه حفر شده و مقطع مغناطیسی در بالای آنها.

برابر با شدت متوسط منطقه و یا به عبارتی دیگر مقدار زمینه می باشد. همانگونه که مشاهده می شود بیشترین مقدار شدت میدان (۵۱۰۰۰ گاما) بر روی توده ورلیتی و کمترین مقدار آن بر روی دیوریت گابروها واقع شده است. در انتهای مقطع (A') یک منطقه کوچک ورلیتی قرار

نقشه کنتموری شدت کل میدان مغناطیسی ترسیم گردید و در روی مقطع زمین شناسی قرار داده شد (مقطع AA'). از مقایسه این دو مقطع مشخص می شود که تغییرات توپوگرافی بر روی شدت میدان مغناطیسی تأثیری نگذاشته است. مقدار شدت میدان در طرفین مقطع تقریباً

شده برداشت شده، بنابراین می توان گفت که این تغییر تقریباً زیاد در ضریب خودپذیری این دونمونه ارتباط چندانی با کانی سازی نداشته و به احتمال زیاد می تواند در نتیجه وجود و تغییرات مقدار آهن و کانی های مغناطیسی آن (عمدتاً منیتیت) بوجود آمده باشد.

اختلاف مقدار میدان مغناطیسی در بالای گمانه اول و گمانه دوم در حدود ۲۳۵۴ گاما می باشد (مقدار میدان در بالای گمانه Br-1 بیشتر است). تغییرات میدان مغناطیسی می تواند ناشی از تغییرات سطح تراز و ضریب خودپذیری مغناطیسی سنگها باشد. باتوجه به اینکه گرادیان قائم مغناطیسی در این منطقه در حدود ۳۸ گاما بر متر است، با فرض این مطلب که اگر ضریب خودپذیری سنگهای گمانه اول به جای مقدار ۱۲۸ در حدود ۴۰-۳۰ در نظر گرفته شود و باتوجه به اینکه اختلاف ارتفاع محل دو نمونه نسبت به یکدیگر ۱۰ متر است، به این ترتیب ۳۸۰ گاما، اختلاف میدان در ارتباط با سطح تراز وجود دارد (شکل Q-05). چون محل نمونه برداری در چاه Br-2 بالاتر از این محل در چاه Br-1 می باشد، پس برای دستیابی به اختلاف میدان بین این دو نقطه که فقط در ارتباط با اختلاف خودپذیری ایجاد شده بایستی مقدار ۳۸۰ گاما به اختلاف میدان این دو نقطه (۲۳۵۴ گاما) اضافه شود.

اختلاف میدان (۲۷۳۴ گاما) در نتیجه تغییر ضریب خودپذیری مغناطیسی سنگ وریتی از دامنه ۴۰-۳۰ به ۱۲۸ بوجود آمده است. به عبارت دیگر اختلافی در حدود ۹۰ در ضریب خودپذیری باعث تغییر میدان مغناطیسی در حدود ۲۷۳۴ گاما شده است. به این ترتیب می توان نتیجه گرفت که اثر تغییرات ضریب خودپذیری بر روی آنومالی میدان مغناطیسی بسیار مهمتر از تغییرات سطح تراز (و یا توپوگرافی) می باشد.

اگر تغییرات جانبی ضخامت توده کانی سازی شده ای که نمونه برداری از آن صورت گرفته است ثابت فرض شود، می توان نتیجه گرفت که شیب کانی سازی در این قسمت از محدوده مورد مطالعه، به سمت گمانه Br-1 (شرق تا شمال شرق) بوده و مقدار آن در حدود ۲۰-۱۰ درجه می باشد. نزدیکترین گمانه پیشنهادی در این محدوده در مرکز نقشه و در مختصات (۳۳۰ و ۶۰-) است. بنابراین

گرفته است که در منطقه مورد مطالعه با توجه به محدودیتهای موجود، ننگجیده است ولی مقطع میدان نشان می دهد که بر روی این منطقه روند تغییرات میدان رو به افزایش است. هر جا که تغییرات ناگهانی در شدت میدان حاصل شده است منطبق بر گسلهای موجود در منطقه است.

یک پیک با مقدار ۵۱۰۰۰ گاما در وسعت کوچک بر روی توده دیوریتی واقع شده است که به نظر می رسد متعلق به توده دیوریتی نباشد و احتمالاً باید توده ای با عیار بالای کانی سازی در زیر آن واقع شده باشد که در مقیاس تهیه نقشه زمین شناسی ننگجیده است. در صورت اثبات این مطلب علت این توده کوچک می تواند گسل موجود در نزدیک این پیک باشد.

تلفیق کلیه اطلاعات و نتایج به دست آمده

- در انتها با تلفیق کلیه اطلاعات و نتایج حاصله، نتایج زیر ارائه گردید. نتایجی که در این قسمت از آنها استفاده شده است شامل :
- گرادیان قائم منطقه برای واحدهایی که دامنه تغییرات ضریب خود پذیری آنها در حدود ۳۰ تا ۴۰ است.
 - اطلاعات مربوط به گمانه های حفر شده در منطقه شامل خودپذیری واحد کانی سازی شده، آنالیز شیمیایی نمونه های داخل گمانه، ستون چینه شناسی و ...
 - داده ها و نتایج حاصل از مطالعات مغناطیسی و زمین شناسی منطقه
- جهت تکمیل نمودن مطالعات، بعد از اینکه دو گمانه (Br-1) و (Br-2) در منطقه حفر گردید، دو نمونه از داخل هر یک ، در عمق های مشخص برداشت شد. مقدار TiO_2 در این نمونه ها در حدود ۹-۸ درصد و Fe_2O_3 آن در حدود ۳۰ درصد می باشد. به عبارت دیگر می توان گفت که این نمونه ها از داخل توده کانی سازی شده برداشت شده اند (شکل Q-05). ضریب خودپذیری نمونه گمانه اول از عمق ۶۰ متری ۱۲۸/۲۳ و نمونه گمانه دوم از عمق ۴۰ متری ۳۰/۵ است. باتوجه به این که هر دو نمونه از یک واحد زمین شناسی و آن هم از واحد کانی سازی

که مقدار میدان مغناطیسی آنها در حدود ۵۱۰۰۰-۵۰۰۰۰ گاما می باشد.

لازم به یادآوری است که دو گمانه حفر شده در منطقه براساس تلفیق اطلاعات، از جمله زمین شناسی، ژئوفیزیک، ژئوشیمی و ... بوده است. با توجه به مطالعات ژئوفیزیک ۵ نقطه مناسب جهت حفر گمانه معرفی شد، که در نهایت ۲ گمانه فوق حفر گردیده است.

نتیجه گیری و پیشنهاد

قسمت اعظم آنومالی که کانی سازی تیتانیوم در آن صورت گرفته است در قسمت غربی منطقه می باشد. در این محدوده سه آنومالی در امتداد شمالی - جنوبی قرار گرفته اند. این سه قسمت تنه اصلی کانی سازی را تشکیل داده اند که دقیقاً منطبق بر واحد ورلیتی (کانی سازی شده) است. به نظر می رسد که این سه منطقه در عمق باهم در ارتباط می باشند.

در قسمت شرق منطقه مورد مطالعه نیز یک آنومالی با شدت بالا نشان داده شده است. در مقایسه با زمین شناسی منطقه مشخص می شود که این آنومالی منطبق بر واحد دیوریتی با کانی سازی کمتر است. آنومالیهای شدت پایین نیز منطبق بر واحد دیوریت گابرویی (فاقد کانی سازی) می باشد.

جهت انجام مطالعات دیگر در منطقه، به نظر می رسد که پس از حصول نتایج مثبت، نمونه برداری از رسوبات آبراهه ای و مطالعه کانی سنگین در پایین دست ارتفاعات منطقه به منظور بررسی احتمال کانی سازی پلاسری تیتانیوم ضروری می باشد.

باتوجه به مقدار شیب، این گمانه در عمق ۴۰ متری به توده ای، با چنین مشخصات برخورد می کند. اظهارنظر در مورد عمق برخورد گمانه ها به چنین واحدی باتوجه به انفصالی که در رخنمون سنگی مشاهده می شود و همچنین تغییرات لیتولوژی، مشکل می باشد. ولی باتوجه به شواهد موجود و اطلاعات گمانه های حفر شده می توان پیش بینی کرد که تغییرات لیتولوژی در عمق تقریباً زیاد بوده و حداقل عیار TiO_2 در این گمانه ها در حدود ۴-۵ درصد است. در جدول (۱) اطلاعات مربوط به هر نمونه آورده شده است.

جدول ۱: اطلاعات استفاده شده در تلفیق.

مشخصات	Br-1	Br-2
تراز نمونه برداری	۲۱۲۶	۲۱۳۶
جنس سنگ	ورلیت	ورلیت
مقدار Fe_2O_3	۳۱	۳۰
مقدار TiO_2	۹	۸/۵
خودپذیری مغناطیسی	۱۲۸/۳	۳۰/۵
مقدار میدان	۵۳۱۰۰	۵۰۶۰۰

باتوجه به جدول فوق می توان به این نتیجه رسید که افزایش مقدار آنومالی مغناطیسی از ۵۰۶۰۰ گاما به ۵۳۱۰۰ روی سنگهای ورلیتی به طور مشخص در ارتباط با کانی منیتیت می باشد، که از طرف دیگر منطبق بر محدوده هایی است که آلتراسیون شدیدتر می گردد. به این ترتیب در صورتی که بخواهیم در حفاریهای بعدی به محدوده های کانی سازی، با آلتراسیون و مقدار منیتیت کمتر دسترسی پیدا کنیم بایستی نقاطی را انتخاب کنیم

مراجع

- ۱ - پوستی، م. عملیات ژئوفیزیکی کانسار تیتانیوم کهنوج، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده فنی، دانشگاه تهران.
- ۲ - حسین زاده گویا، ن. اکتشافات با روش مغناطیسی. موسسه ژئوفیزیک.
- ۳ - زمردیان، ح. و حاجب حسینی، ح. ژئوفیزیک کاربردی. انتشارات دانشگاه تهران، (۱۳۶۸).
- ۴ - علی پور اصل، م. بررسی زمینشناسی اقتصادی و پترولوژی مجموعه مافیک و اولترامافیک تیتانیوم - آپاتیت دار قره آغاچ. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید بهشتی.
- ۵ - مهندسین مشاور کاوشگران. گزارش پتانسیل یابی مواد معدنی در شمال و شمال باختری ارومیه.