

زمین شناسی، کانی شناسی و اکتشافات مغناطیس سنجی در کانسار

آهن خاقلق شمال غرب نیشابور (خراسان رضوی)

پروین نجف زاده طهرانی^{۱*}، علی اصغر کلاگری^۲، وارطان سیمونز^۳، کمال سیاه چشم^۴، جواد غیور عاملی^۵

۱- گروه زمین شناسی، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران، Par_najfzadeh@tabrizu.ac.ir

۲- گروه زمین شناسی، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران، calagaria@yahoo.com

۳- مرکز تحقیقات علوم پایه، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران، Simmonds_vartan@yahoo.co.uk

۴- گروه زمین شناسی، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران، kl_siahcheshm@yahoo.com

۵- شرکت توسعه و سرمایه گذاری معادن شرق ایران، مشهد، ایران، ghayoorameli@yahoo.com

چکیده

کانسار آهن خاقلق در ۳۰ کیلومتری شمال غرب نیشابور واقع شده است. کانی سازی های آهن در این کانسار به صورت پراکنده، رگه ای، برشی و توده ای در یک زون گسله در داخل سنگ های میزبان ساب ولکانیک دیوریت پورفیری، کوارتز دیوریت پورفیری و میکروگرانودیوریت توسعه یافته است. با توجه به بررسی های مینرالوگرافی و تجزیه های XRD، مگنتیت کانه اصلی این کانسار بوده که در قسمت های هوازده به هماتیت تبدیل شده است. واحدهای ساب ولکانیک میزبان توسط سیالات گرمایی دگرسانی پروپیلیتیک، آرژیلیک و کربناته متحمل شده اند. اندازه گیری شدت کل میدان مغناطیسی در شبکه ای به ابعاد 2×1.3 کیلومتر مربع انجام شده است و در مجموع ۲۰۷۰ ایستگاه مغناطیس سنجی اندازه گیری شده است. بررسی های انجام شده، بی هنجاری مغناطیسی در جنوب غرب منطقه را نشان می دهد. با استفاده از مطالعات صحرایی، مینرالوگرافی و تلفیق آنها با بررسی های ژئوفیزیکی منبع بی هنجاری در جنوب غرب محدوده، مرتبط با کانی سازی مگنتیت در عمق می باشد.

کلیدواژه ها: واژه های کلیدی: سیالات گرمایی، مگنتیت، مغناطیس سنجی، کانسار آهن، نیشابور

۱- مقدمه

محدوده مورد مطالعه به مختصات جغرافیایی $36^{\circ} 23' 36''$ و $58^{\circ} 35' 02''$ تا $58^{\circ} 37' 43''$ طول شرقی و $36^{\circ} 23' 36''$ و $36^{\circ} 25' 22''$ عرض شمالی در یال شمالی رشته کوه های بینالود، در ۳۰ کیلومتری شمال غرب نیشابور واقع شده است. بارزترین ویژگی زمین شناسی محدوده مورد بررسی حضور کانی سازی های از آهن به فرم های رگه ای، توده ای، برشی و پراکنده در داخل واحدهای ساب ولکانیک می باشد. تاکنون مطالعات زیادی بر روی مسائل کانی شناسی این ذخیره صورت نگرفته است. مطالعات انجام شده قبلی بر روی این ذخیره بیشتر جنبه اکتشافی داشته و به صورت گزارشات مختلف اکتشافی می باشد. در این مطالعه سعی شده است با استفاده از بررسی های صحرایی، پتروگرافی و کانی شناسی و ارتباط بین مینرالوژی این ذخیره با یافته های مغناطیس سنجی موقعیت ذخیره پنهان مورد بررسی قرار گیرد. امید است نتایج بدست آمده از این مطالعه کمک شایانی در اکتشاف این تیپ ذخایر در کشور داشته باشد.

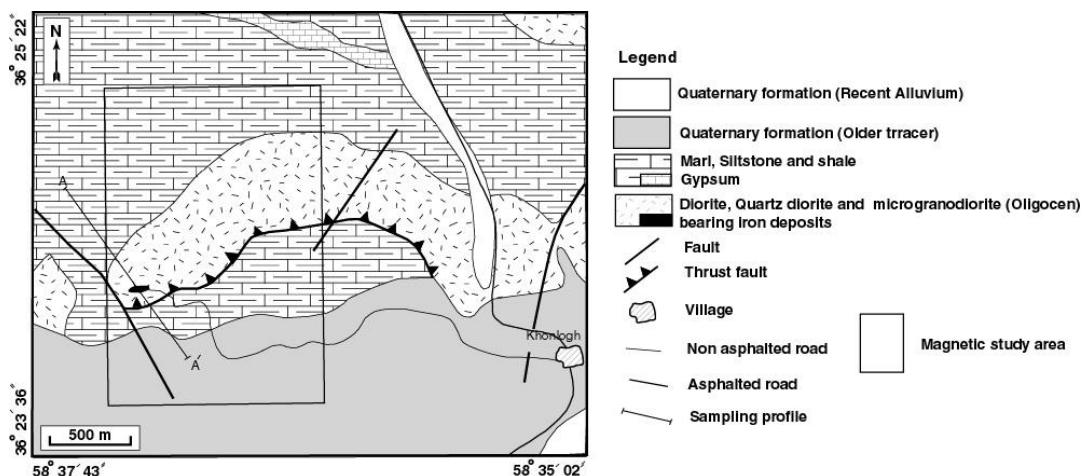
۲- مواد و روش‌ها

در این مطالعه بررسی‌های کانی‌شناسی، مینرالوگرافی و پتروگرافی بر روی ۵۰ عدد از نمونه‌های سنگی برداشت شده از رخنمون‌های سطحی و محل حفر ترانشه‌ها در دانشگاه تبریز انجام شده است. برای تعیین فازهای کانیایی نامشخص تعداد ۲۰ نمونه از زون‌های دگرسان و مینرالیزه به روش XRD در شرکت کانساران طیف بینالود تجزیه شده‌اند. بررسی‌های ژئوفیزیکی به روش مغناطیس‌سنجی در منطقه در شبکه‌ای به ابعاد 2×1.3 کیلومتر مربع صورت گرفته است. فواصل ایستگاه‌های اندازه‌گیری شده بین ۱۰ تا ۲۰ متر می‌باشد. در مجموع پذیرفتاری مغناطیسی در ۲۰۷۰ نقطه بر روی رخنمون‌های سنگی واقع در طول پروفیل‌های مغناطیس‌سنجی اندازه‌گیری شده است (شرکت توسعه و سرمایه‌گذاری معادن شرق ایران، ۱۳۹۰). دستگاه سنجنده مغناطیس مورد استفاده از نوع پروتون مدل GSM-19T می‌باشد. دقت این دستگاه ۰/۰۵ گاما بوده و ساخت شرکت GEM کانادا است. نقشه‌های منحنی میزان، انتقال به قطب و فراسو توسط نرم افزار GeoSoft ترسیم شده‌اند.

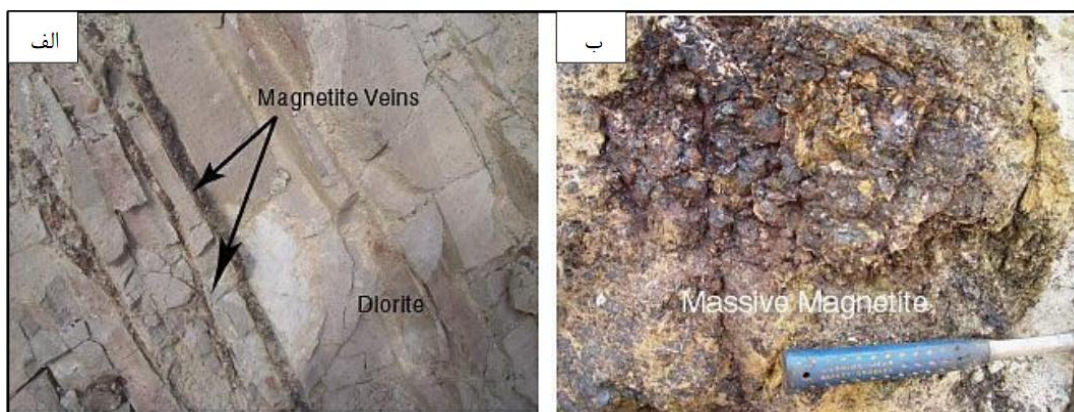
۳- نتایج و بحث

زمین‌شناسی

بررسی‌های زمین‌شناسی نشان می‌دهند سنگ‌های میزبان کانسار آهن خائلق ساب ولکانیک می‌باشند که به عنوان یک واحد سنگی ثابت در مرکز محدوده مورد مطالعه گسترش دارند (شکل ۳-۱). این واحدها با سن الیگوسن قدیمی‌ترین تشکیلات سنگی منطقه بوده و به صورت رورانده بر روی مارن و شیل‌های متعلق به میوسن قرار گرفته‌اند. بررسی‌های پتروگرافی نشان می‌دهند سنگ‌های ساب ولکانیک در محدوده مورد مطالعه شامل دیوریت پورفیری، کوارتز دیوریت پورفیری و میکروگرانودیوریت می‌باشند. شاخص‌ترین ویژگی زمین‌شناسی این سنگ‌ها وجود شکستگی‌ها و سیستم‌های درزه‌ای زیاد بوده که به نظر می‌رسد حاصل فرایندهای ساختمانی باشد. کانی‌سازی‌های آهن عمدتاً در شکستگی‌های حاضر در این سنگها رخ داده و از راستای گسترش آنها تبعیت می‌کنند. این کانی‌سازی‌ها به فرم‌های رگه‌ای، دیسمینه، توده‌ای و برشی که دارای ابعاد و ضخامت متغیر بوده مشاهده می‌شوند (اشکال ۳-۲ الف و ۳-۲ ب). در فرم‌های مذکور کانه اصلی آهن مگنتیت می‌باشد. حرکات تکتونیکی پس از تشکیل کانی‌سازی در منطقه شکستگی‌های فراوانی در آنها ایجاد کرده است. فرایندهای پر شدن فضاهای خالی و تشکیل کلسدونی و حضور رگه‌های کربناته از جمله فرایندهای بعد از کانه‌زایی بوده است که بر روی این ذخیره اعمال شده است.



شکل ۳-۱: نقشه زمین شناسی کانسار آهن خالقی که در آن موقعیت محدوده مگنتومتری مشخص شده است.



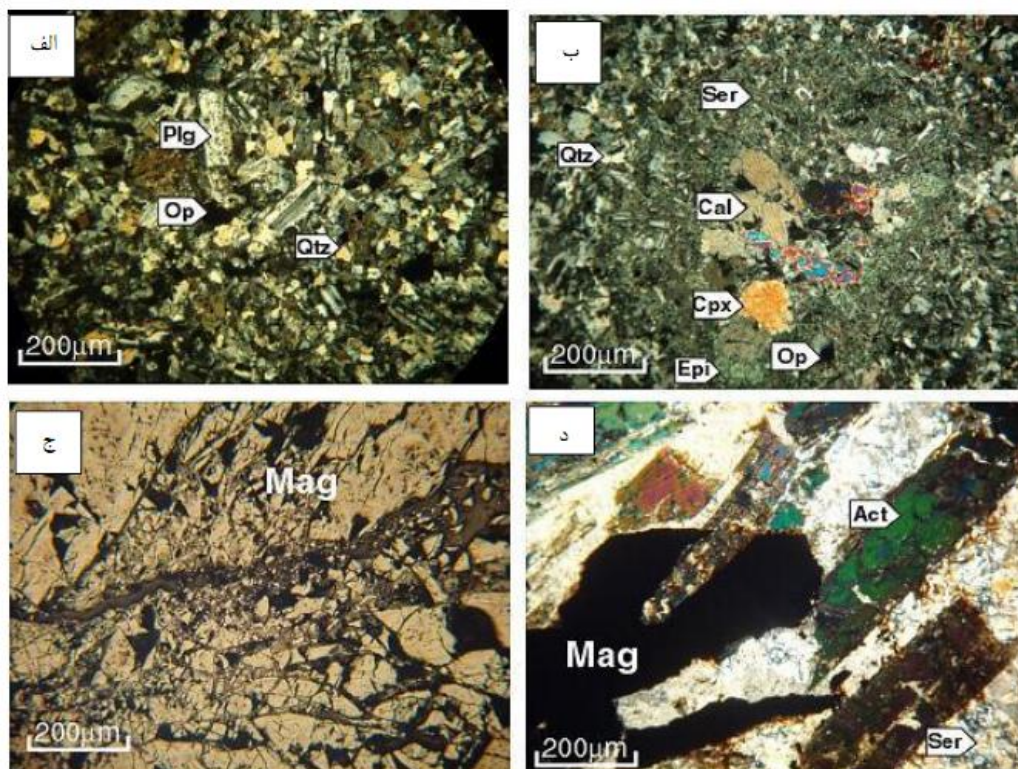
شکل ۳-۲: تصاویر صحرایی کانسار آهن خالقی (الف) مگنتیت که به صورت رگه ای فضای بین شکستگی های سنگ میزبان دیوریتی را پر کرده است. (ب) کانی سازی مگنتیت به صورت توده ای

کانی شناسی سنگ های ساب و لکانیک

مطالعات میکروسکوپی نشان می دهد پلاژیوکلاز کانی متداول در این سنگ ها بوده که به دو صورت بلورهای دانه ریز در زمینه سنگ و فنوکریست های یوهدرال توزیع یافته اند (شکل ۳-۳ الف). در این میان کوارتزهای ریز بلور به صورت پراکنده حضور دارند. کانی های رسی نظیر سریسیست، مونت موریلونیت آنها را در مقادیر فرعی همراهی می نمایند. به نظر می رسد اغلب کانی های مذکور توسط فرایندهای هیدرولیز از دگرسانی فلدسپارها تشکیل شده اند. حضور بلورهای کاذب کانی های رسی نشان از جانشینی کامل آنها به جای فلدسپارها دارند. در نمونه های مربوط به دیوریت ها آثاری از پیروکسن به صورت پراکنده مشاهده می شود (شکل ۳-۳ ب). بررسی های کانی شناسی نشان می دهند که آمفیبول از کانی های متداول در کوارتز دیوریت ها بوده و پیریت و اکسیدهای آهن عمدتاً در میکروگرانودیوریت ها حضور دارند. مجموعه های کانیایی مذکور در این سنگ ها به کلریت، اپیدوت و کلسیت دگرسان شده اند. بررسی های بافتی نشان می دهند که بافت میکروولیتیک پورفیری و پورفیری بافت های غالب در تمامی سنگ ها می باشد.

مینرالوگرافی کانسنگ آهن

مینرالوگرافی کانسنگ‌های آهن نشان می‌دهد مگنتیت کانه اصلی آنها را تشکیل داده است. هماتیت، به همراه اکتینولیت، کوارتز، کلسیت و به مقدار کمتر پیریت حضور دارند. در کانسار آهن خاقلق مگنتیت به صورت بلورهای نیمه شکل‌دار، شکل‌دار و موزاییکی دیده می‌شود. ابعاد بلورهای مگنتیت از ۲۰ تا ۸۰۰ میکرون متغیر است. اجتماع این بلورها گاه، تجمعات درشت با ابعاد ۱ میلی‌متر تا سانتی‌متر را ایجاد کرده‌اند که با چشم غیر مسلح قابل شناسایی است. پدیده مارتیتی شدن در این بلورها در بخش‌هایی که تحت تاثیر فرایندهای سوپرژن قرار گرفته است مشاهده می‌شود. در کانسار مورد مطالعه، مارتیتی شدن از حاشیه دانه‌های مگنتیت و در امتداد شکستگی‌ها و سطوح رخ‌ها شروع شده و در مراحل پیش‌رفته‌تر در بخش‌های درونی کانی توسعه یافته است. بطوریکه در برخی موارد کانی مگنتیت کاملاً به هماتیت تبدیل شده است. کانی مگنتیت دارای بافت توده‌ای، دانه‌ای و کاتاکلاستیک است (شکل ۳-۳ ج). اکتینولیت، فراوان‌ترین کانی سیلیکاته آبدار همراه با مگنتیت است. این کانی دارای آگرگات‌های شعاعی می‌باشد. همچنین اشکال سوزنی شکل از آن همراه با مگنتیت‌ها تشکیل شده‌اند (شکل ۳-۳ د). این کانی‌ها نیز همانند مگنتیت‌ها بافت کاتاکلاستیک دارند. تمامی هماتیت‌های تشکیل شده در کانسنگ آهن ثانویه بوده و طی فرآیند مارتیتی شدن از اکسایش مگنتیت بوجود آمده‌اند. دانه‌های درشت کلسیت در ابعاد ۱۰ تا ۲۰۰ میکرومتر و به صورت پر کننده در فضای بین شکستگی‌ها و فاصله بین دانه‌ها حضور دارند.



شکل ۳-۳: تصاویر میکروسکوپی کانسار آهن خاقلق: (الف) دیوریت پورفیری فنوکریست‌های پلاژیوکلاز به صورت پراکنده در متن مشاهده می‌شوند. (ب) دیوریت که در آن کلینوپیروکسن‌ها به کلسیت و اپیدوت آلتره شده‌اند. (ج) بافت کاتاکلاستیک در کانی مگنتیت. (د) کانی اکتینولیت که به صورت هم رشد با مگنتیت مشاهده می‌شود.

به طور کلی دگرسانی در محدوده کانسار آهن خاقل گسترده نبوده و محدود به رگه ها و توده های مگنتیتی در مجاورت با سنگ میزبان می باشد. گسل های موجود به عنوان کانال های ارتباطی عمل کرده و چرخش سیالات گرمایی منجر به کانی سازی رگه و رگچه ای در سنگ های ساب و لکانیک حد واسط تا اسیدی شده است. بر اساس مطالعات صحرایی، میکروسکوپی و نتایج تجزیه های XRD دگرسانی پروپیلیتی، آرژیلیتی، کربناته و کلریتی به ترتیب بیشترین گسترش را در منطقه دارند. کانی های عمده زون های دگرسان اپیدوت، سرپسیت، کلریت، کوارتز، کلسیت، آلبیت و مونموریلونیت می باشند. دگرسانی غالب در منطقه پروپیلیتی شدن است که در همبری توده ساب و لکانیک و کانه زایی آهن مشاهده می شود. این پدیده که در صحرا به رنگ سبز تیره تا زیتونی مشخص است، موجب افزایش Ca^{2+} و Fe^{3+} در سنگ شده و نشان گر فعالیت بالای این دو عنصر است. دگرسانی آرژیلیکی در منطقه باعث تشکیل کانی های رسی شده و در نتیجه سنگ ها در رخنمون سطحی به رنگ سفید تظاهر می نمایند. فلدسپارهای موجود در سنگ میزبان به شدت تخریب و فرسایش یافته و به کانی های رسی و کوارتز تبدیل شده اند.

مطالعات مغناطیسی سنجی

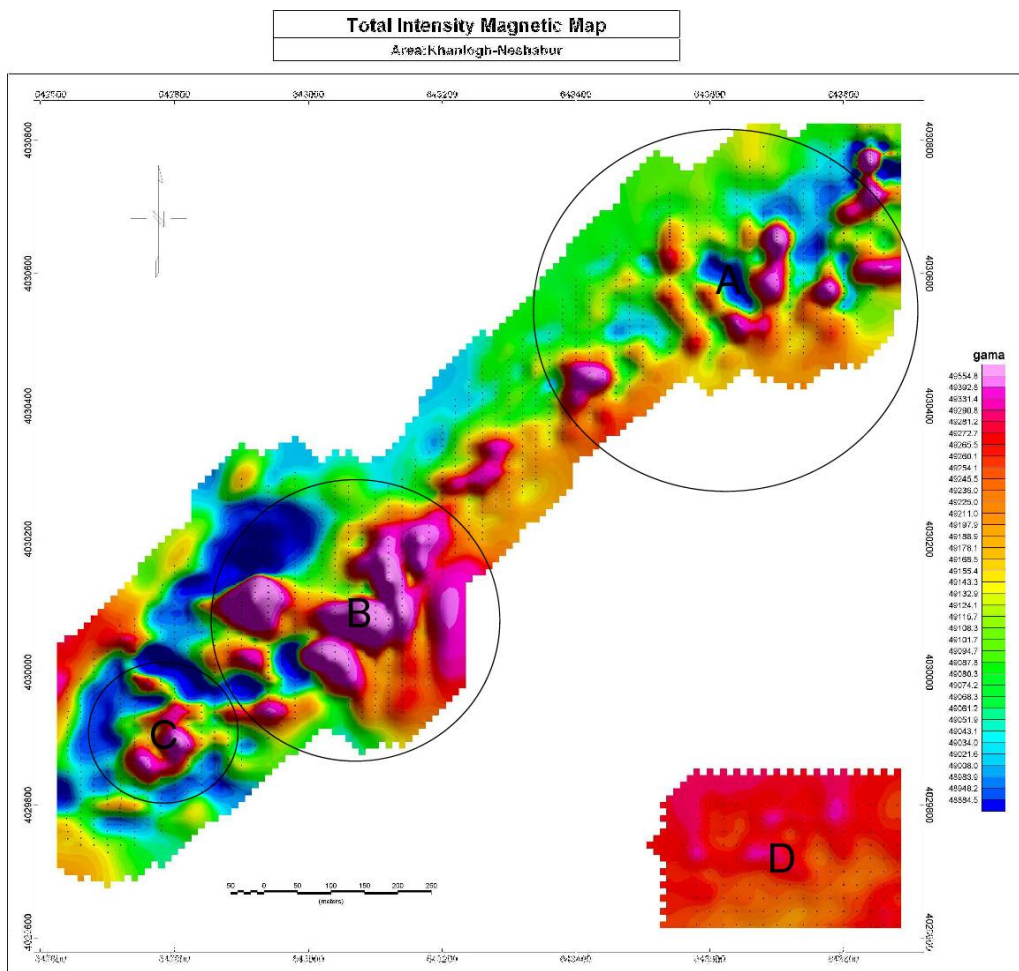
با توجه به مشاهده کانه زایی آهن مگنتیتی در منطقه تعداد ۲۰۷۰ ایستگاه اندازه گیری شده است. هنگام اندازه گیری شدت کل میدان مغناطیسی، تغییرات روزانه کنترل شده کمتر از دقت دستگاه (۰/۰۵ گاما) بوده و بنابراین از آنها صرف نظر شده است. شکل و روند ناهنجاری ها در نقشه شدت میدان مغناطیسی ترسیم شده است (شکل ۳-۴). در نقشه شدت میدان مغناطیسی چهار بی هنجاری A، B، C و D شناسایی شده اند.

در شمال شرق بی هنجاری محدوده A به صورت رگه ای بوده و طول آنها تقریباً به ۱۰۰ متر می رسد. در قسمت جنوب غرب بی هنجاری ها گسترش بیشتری دارند. کمترین میدان مغناطیسی اندازه گیری شده ۴۶۱۵۱ گاما و بیشترین مقدار ۵۷۱۴۵ گاما اندازه گیری شده است. اختلاف شدت میدان ۱۱۰۰۰ گاما است. بزرگی بی هنجاری مقدار زمینه نیز ۴۹۲۹۹ گاما بدست آمده است (شرکت توسعه و سرمایه گذاری معادن شرق ایران، ۱۳۹۰). بی هنجاری B در غرب و بخشی از جنوب غرب به صورت پراکنده وجود دارد. این بی هنجاری منطبق بر کانی سازی مگنتیت به صورت توده ای می باشد. بی هنجاری C واقع در جنوب غرب به دلیل وجود رگه و رگچه های نازک کانه های آهن دار است که در سنگ میزبان پراکنده شده اند. محدوده D در جنوب شرق منطقه مورد مطالعه منطبق بر رسوبات کواترنری است. در این محدوده مقادیر عددی اندازه گیری شده تقریباً برابر با مقدار زمینه می باشد (۴۹۱۷۷ گاما) و اختلاف بین حداقل و حداکثر شدت مغناطیسی ۱۳۰ گاما بوده و بی هنجاری خاصی مشاهده نشده است (شرکت توسعه و سرمایه گذاری معادن شرق ایران، ۱۳۹۰).

از آنجاییکه زاویه میل و انحراف میدان مغناطیسی زمین، تابعی از موقعیت جغرافیایی نقاط اندازه گیری شده است، شکل یک بی هنجاری مغناطیسی علاوه بر شکل و خود پذیری مغناطیس ساختمان های زیر سطحی به جهت القا شوندگی مغناطیس زمین نیز وابسته است. این امر سبب جابجایی و انحراف در شکل و محل آنومالی مغناطیسی می شود. برای حذف این اثر از فیلتر برگردان به قطب استفاده می شود (Clark, 1997). تفسیر نهایی از مجموعه یافته های انتقال داده شده به قطب صورت می گیرد.

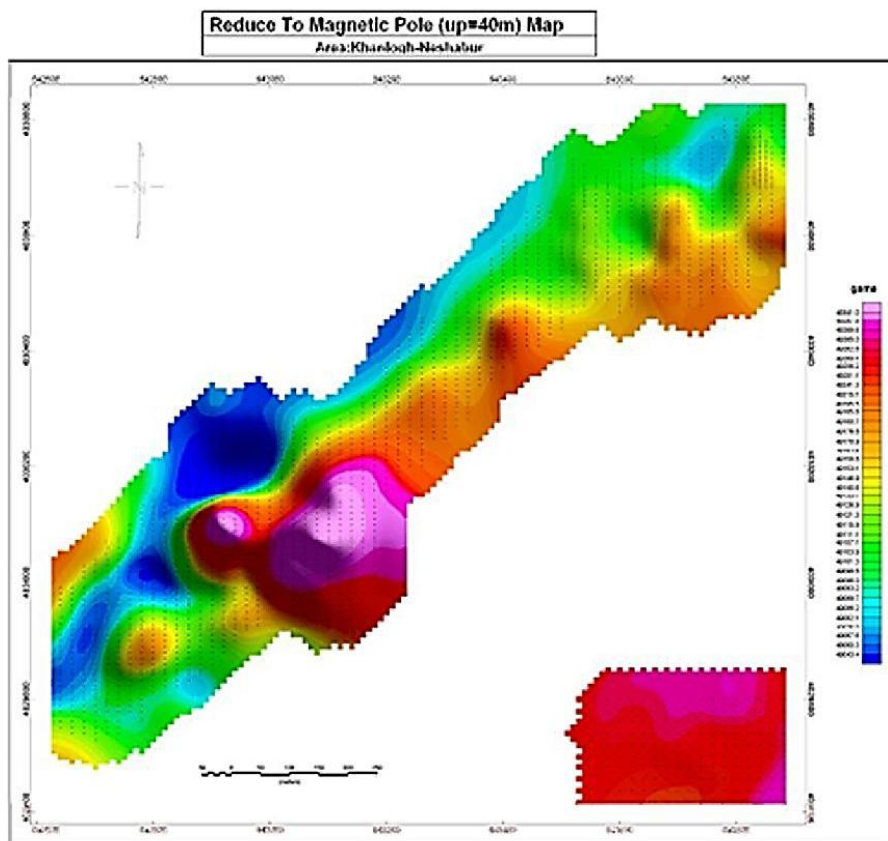
نقشه فراسو یا گسترش به سمت بالا اثر آنومالی های سطحی با فرکانس بالا را حذف و به این طریق اثر ناهنجاری های عمقی را دقیق تر آشکار می کند (Gunn et al., 1997). با اعمال این فیلتر می توان اطلاعات کیفی از گسترش عمقی منشأ به دست آورد. در این مطالعه نقشه های گسترش به سمت بالا به همراه برگردان به قطب (RTP) در ارتفاعات ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۰ متری تهیه شده است. با بررسی نقشه های گسترش به سمت بالا در ارتفاعات مختلف اثر بی هنجاری های مغناطیسی A، C و D از عمق ۲۰ متر به بالا حذف شده اند. این امر

دلالت بر سطحی بودن منبع این بی‌هنجاری‌ها دارد. با وجود اینکه بی‌هنجاری‌های مغناطیسی در محدوده B در سطح از یکدیگر جدا هستند اما در عمق ۴۰ متر به بالا گسترش عرضی بیشتری یافته و به هم می‌پیوندند (شکل ۳-۵).

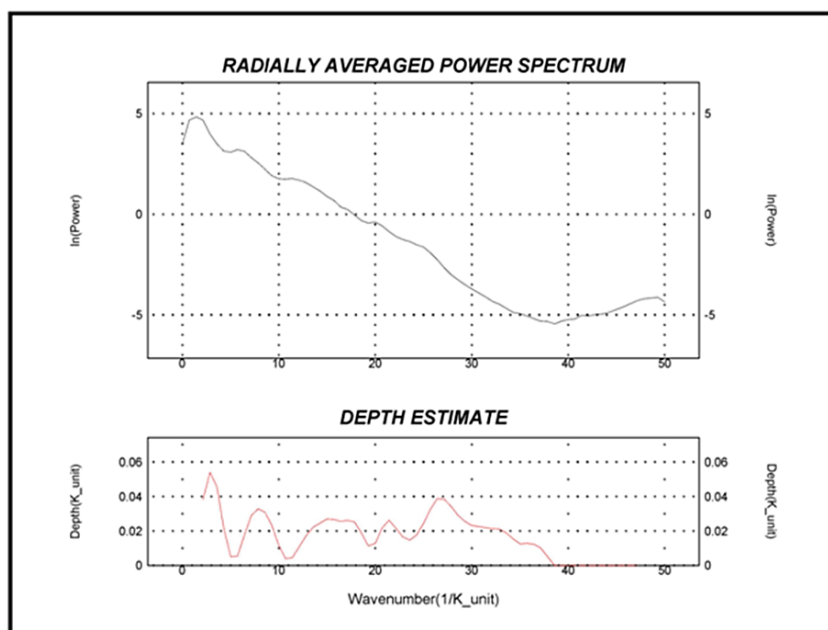


شکل ۳-۴: نقشه شدت کل مغناطیس محدوده مورد مطالعه (شرکت توسعه و سرمایه‌گذاری معادن شرق ایران، ۱۳۹۰).

در نمودار تخمین حداکثر عمق کانی‌سازی با استفاده از روش توان طیف متوسط انرژی عمق مدل به دست آمده حداکثر ۴۰ متر بوده که مطابقت خوبی با نتایج حاصل از پردازش و تفسیر نقشه‌های این محدوده دارد (شکل ۳-۶). اطلاع از خاصیت فیزیکی سنگ‌ها (چگالی، پذیررفتاری مغناطیسی، رسانایی الکتریکی و مانند آنها) در تعیین روش ژئوفیزیکی مورد استفاده و تفسیر یافته‌ها الزامی است (Clark, 1997). پذیر رفتاری مغناطیسی مگنتیت در یکای CGS از نمونه مگنتیت کانسار اندازه‌گیری شده است. معمولاً پذیر رفتاری سنگ‌های دیوریتی به طور میانگین 46.8×10^{-6} CGS می‌باشد (کلاگری، ۱۳۸۹). متوسط پذیر رفتاری مغناطیسی نمونه مگنتیت برداشت شده از منطقه ۰/۰۲۱ CGS اندازه‌گیری شده است. یعنی ۴۵۰ برابر بزرگتر از سنگ میزبان است. بنابراین می‌توان پیش‌بینی کرد که بی‌هنجاری مغناطیسی پوشیده ممکن است ناشی از حضور کانسار در عمق باشد. به علت پذیررفتاری بسیار زیاد مگنتیت در کانسار آهن نسبت به واحدهای سنگ میزبان تنها منبع ایجاد کننده کانی مگنتیت در توده‌های آهن‌دار می‌باشد.



شکل ۳-۵: نقشه برگردان به قطب به همراه گسترش به سمت بالا تا ۴۰ متر (شرکت توسعه و سرمایه گذاری معادن شرق ایران، ۱۳۹۰)



شکل ۳-۶: نمودار تخمین حداکثر عمق کانی سازی با استفاده از روش توان طیف متوسط انرژی (شرکت توسعه و سرمایه گذاری معادن شرق ایران، ۱۳۹۰).



۴- نتیجه گیری

نتایج بدست آمده از بررسی های صحرایی، پتروگرافی و مغناطیس سنجی حکایت از آن دارد که بی هنجاری موجود در جنوب غرب محدوده مورد مطالعه از تجمع کانی سازی مگنتیت حاصل شده اند. این کانی سازی به صورت برشی، رگه ای و توده ای نهشته شده اند و پس از تشکیل بر اثر حرکات تکتونیکی در منطقه شکستگی های فراوانی در آنها ایجاد شده اند. فرایندهای پر شدن فضاهای خالی و تشکیل کلسدونی و رگه های کربناته از جمله فرایندهای بعد از کانه زایی بوده است که بر روی این ذخیره اعمال شده است. بررسی های کانی شناسی و مینرالوگرافی دلالت بر تاثیر متوسط فرایندهای دگرسانی بر روی سنگ های میزبان دارند. ملاحظات مگنتومتري نشان می دهند که کانی سازی مگنتیت در عمق بیش از ۴۰ متر صورت گرفته است

۵- مراجع

مراجع فارسی

- شرکت توسعه و سرمایه گذاری معادن شرق ایران، ۱۳۹۰ گزارش ژئوفیزیک به روش مغناطیس سنجی بر روی محدوده آهن خاقلق نیشابور (خراسان رضوی). ۱-۳۳ صفحه.
- کلاگری، ع.ا، ۱۳۸۹، اصول اکتشافات ژئوفیزیکی، ناشر، علی اصغر کلاگری، ۴۸۵+۲۴ صفحه.

References:

- Clark, D. A., 1997, Magnetite petrophysics and magnetite petrology: aids to geological interpretation of magnetite surveys. *AGSO Journal of Australian geology and geophysics*, 17, 83-103.
- Guun, P. J., Madment, D., and Miligan, P.R., 1997, Interpretation of aeromagnetic data in area of limited outcrop: *AGSO Journal of Australian Geology & Geophysics*, 17, 175-185.