



اکتشاف آهن و کرومیت به وسیله مطالعات زمین‌شناسی و ژئوفیزیکی در منطقه شوین استان سیستان و بلوچستان

آزاده آگاه*^۱ و مرضیه حسینی نسب^۱

۱- استادیار؛ دانشکده مهندسی شهید نیکبخت، گروه مهندسی معدن، دانشگاه سیستان و بلوچستان

دریافت مقاله: ۱۴۰۰/۰۲/۱۶؛ پذیرش مقاله: ۱۴۰۰/۰۵/۲۲

* نویسنده مسئول مکاتبات: agah_eng@eng.usb.ac.ir

چکیده

ناحیه مورد مطالعه از نظر زمین‌شناسی و به صورت بالقوه دارای استعداد کافی برای کانه‌زایی آهن و کرومیت می‌باشد. کما این که در فواصل کوتاهی از آن معادن و کانسارهای متعددی از این دست مواد معدنی وجود دارند. این محدوده در کنار مجموعه‌های اوفیولیتی و الترامافیکی قرار گرفته است؛ که معادن قابل ملاحظه‌ای از آهن و فلزات پایه در آن مشاهده و استخراج می‌گردند. با توجه به این که این محدوده بصورت بالقوه دارای پتانسیل تجمع کانی‌های اقتصادی آهن و کرومیت بوده است، قبلاً مطالعاتی در این خصوص و در سطح ناحیه‌ای انجام شده است. با توجه به نتایج مشاهدات صحرایی و مطالعات انجام شده و همچنین پتانسیل منطقه و به منظور تکمیل مطالعات اکتشافی منطقه، محدوده کانی‌سازی شده شوین مورد مطالعه قرار گرفته است. بررسی‌های مغناطیس‌سنجی انجام شده حکایت از آن دارند که در این محدوده هیچ‌گونه تجمع کانه آهن غنی در عمق مشاهده نمی‌گردد و در واقع شدت‌های مغناطیسی بالای مشاهده شده متأثر از وجود کانی‌های مگنتیتی در درون سنگ‌های اولترامافیکی می‌باشند. مناطق با شدت بالای مغناطیسی بیانگر یک دایک است که با شواهد زمین‌شناسی در خصوص نحوه حضور سنگ‌های اولترامافیکی تطابق دارد. مدل‌سازی انجام شده روی داده‌های گرانی منطقه وجود توده مدفون با چگالی در حدود ۴/۴ گرم بر سانتی‌متر مکعب را نشان داد. بنابراین احتمال وجود توده کرومیتی در منطقه مورد مطالعه زیاد می‌باشد.

واژگان کلیدی

اکتشاف آهن و کرومیت
گرانی‌سنجی
مغناطیس‌سنجی
زمین‌شناسی
منطقه شوین

۱- مقدمه

روش‌های ژئوفیزیکی از جمله روش‌های مناسبی هستند که تقریباً در تمامی مراحل عملیات اکتشاف از این روش‌ها که عمدتاً ارزان، قابل اعتماد و در بسیاری موارد باعث کاهش ریسک‌های بزرگ سرمایه‌گذاری می‌شوند، بهره گرفته می‌شود (Telford et al., 1990). همچنین کاربرد روش‌های ژئوفیزیکی به همراه مطالعات زمین‌شناسی به منظور کاهش کمبودهای هرکدام از این روش‌ها، افزایش کارایی و تفسیر دقیقتر نتایج، می‌تواند احتمال کشف و امکان دستیابی به مناطق امیدبخش را افزایش دهد.

عملیات مغناطیس‌سنجی و گرانی‌سنجی از قدیمی‌ترین روش‌های ژئوفیزیکی است که برای فعالیت‌های اکتشافی در زمینه‌های مختلف و به ویژه اکتشاف ذخایر آهن و کرومیت مورد استفاده قرار گرفته است. برداشت اصولی و تفسیر صحیح داده‌های مغناطیس‌سنجی و گرانی‌سنجی زمینی در کنار دیگر داده‌های اکتشافی می‌تواند ضمن کاهش هزینه‌ها، اطلاعات ارزشمندی در مورد موقعیت، عمق و ابعاد بخش‌های پنهان ذخایر آهن در اختیار پژوهشگران قرار دهد (Carlson and Ripley, 1997; Ganiya et al, 2012; Amobi Adebisi, 2018; Sampaio, 2021).

روش‌های گرانی و مغناطیسی، یک ابزار اکتشافی اولیه در پیجویی کانیها به شمار می‌رود (Sott and Geo, 2014). در عرصه‌های دیگر، استفاده از این روش از کاربردهای متداولی چون به نقشه درآوردن ساختار سنگ بستر، به طیف وسیعتری از کاربردها گسترش پیدا کرده است که از آن جمله می‌توان به تعیین محل گسلها در محیط‌های رسوبی، آشکار ساختن همبری‌های سنگ‌شناسی پنهان، تعیین موقعیت گنبد‌های نمکی در محیط‌های رسوبی با پاسخ گرانی و مغناطیسی ضعیف و در نهایت مدل‌سازی ساختارهای مورد نظر به وسیله برگردان سه بعدی داده‌های گرانی‌سنجی و مغناطیس‌سنجی اشاره کرد. این کاربردهای جدید، موجب گسترش استفاده از این روش در زمینه‌های متنوعی چون اکتشاف منابع معدنی، نفت و گاز، منابع زمین گرمایی، آبهای زیرزمینی و همین‌طور اهداف دیگری مانند ارزیابی بلایای طبیعی، تعیین محل برخورد شهاب سنگها و مطالعات مهندسی و زیست‌محیطی شده است. گرانی‌سنجی و مغناطیس‌سنجی متداولترین روش ژئوفیزیکی برای نقشه‌برداری زمین‌شناسی، اکتشاف مواد معدنی و نفت است (Paterson and Reeves, 1985; Joshua et al., 2017; Adagunodo et al., 2015). پی‌جویی‌های هوایی گرادیان گرانی به همراه مغناطیس به طور موفقیت‌آمیزی در سالهای اخیر برای اکتشاف هماتیت و منیتیت در قسمت‌های مختلف جهان از جمله شمال کانادا، غرب آفریقا و آمریکا جنوبی انجام گرفته است (Chander et al., 2009). در منطقه بافین ایسلند کشور کانادا نیز مطالعات نقشه‌های پالئومغناطیس و رادیومتری منجر به کشف ذخایر پنهان روی شده است (Siemon, 2001). بیشتر یافته‌های جدید اکتشافی، ژئوفیزیک نقش موثری در اکتشاف و نمایش ذخایر پنهان در عمق دارد (Bishop and Lewis, 1992; Zhang et al, 2012).

al., 2020) با استفاده از خواص مختلف ذخایر سولفیدی در شرق کشور فنلاند نیز، با مطالعات مغناطیس‌سنجی و رادیومتری پرتو گاما جایگاه ذخایر شناخته شده مشخص شد و سپس بر اساس همین خواص، ذخایر کشف نشده یا پنهان متعددی کشف شدند (Clark, 1999).

بیشتر کانسارهای کرومیت استخراج شده در دهه اخیر کشف شده‌اند (Yaghubpur, 2005). توده‌های کانسنگ کرومیت آلپی عدسی‌های کرومیت به علت تاثیر عوامل زمین‌ساختی و شکلهای نامنظم آنها، اهداف مشکلی برای اکتشاف هستند، روش‌های گرانی و الکتریکی مهمترین روش‌های ژئوفیزیکی مورد استفاده هستند (Kogel et al., 2006). با وجود آن که سنگهای افیولیتی وزن مخصوص به نسبت زیادی دارند، با وجود این چگالی زیاد کانسنگ کرومیت آن را از سنگ درونگیرش قابل تمیز می‌سازد (Hornicka et al., 2020). بنابراین گرانی‌سنجی روش ژئوفیزیکی متداولی در اکتشاف ذخایر کرومیت است (آقاجانی، ۱۳۹۱; John, 1997; Moazam et al., 2019). کامکار روحانی (۱۳۸۷) و آزاد و همکاران (۱۳۹۲) با استفاده از پردازش داده‌های گرانی‌سنجی توانستند بی‌هنجاریهای کرومیتی منطقه معدنی فاریاب بندرعباس را تعیین کنند.

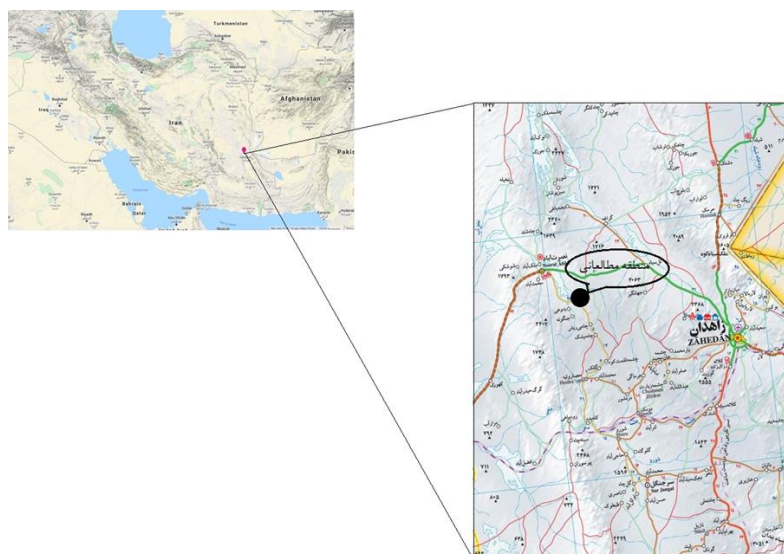
به منظور انجام عملیات اکتشافی مورد نظر در محدوده کانی‌سازی شده شوین، ابتدا منطقه مورد بازدید واقع شده و سپس کلیه اطلاعات، گزارش‌ها و نقشه‌های تهیه شده از آن منطقه جمع‌آوری گردیده و از اختلاط این دو منبع (بازدیدهای صحرایی و سوابق مطالعاتی) شناخت نسبتاً مناسبی از چگونگی ویژگی‌های زمین‌شناسی این منطقه بدست آمد. این اطلاعات در ترسیم راهکارهای آتی عملیات اکتشافی موثر واقع شده و بر این اساس و به جهت نیل به اهداف اکتشافی این مطالعه، یک برنامه زمان‌بندی شده برای گروه‌های مختلف عملیاتی طراحی گردید.

در مرحله دوم، چندین گروه عملیاتی و با اهداف متفاوت تجهیز گردیدند؛ که در کنار و با همکاری گروه نقشه‌برداری، عملیات اکتشافی را آغاز نمودند. در این مرحله فعالیت‌های متعددی از جمله انجام بررسی‌های صحرایی زمین‌شناسی، انجام پیمایش‌های ژئوفیزیکی و نمونه‌برداری از مناطق مساعد صورت پذیرفت.

در سومین مرحله اطلاعات حاصل از بررسی‌ها و یا مطالعات مختلف زمین‌شناسی و ژئوفیزیکی مورد پردازش قرار گرفته و نتایج بدست آمده از آن بطور جداگانه و در بخش‌های آتی ارائه خواهند گردید.

۲- موقعیت جغرافیایی و راه‌های دسترسی

کانسار آهن شوین در دامنه کوه شورشیرین و در فاصله حدود ۲۲ کیلومتری بخش نصرت‌آباد از شهرستان زاهدان قرار دارد. مختصات جغرافیایی این کانسار عبارت از $60^{\circ} 9' 13''$ طول جغرافیایی و $29^{\circ} 45' 38''$ عرض جغرافیایی می باشد (شکل ۱). همان‌طور که اشاره شد این کانسار در فاصله ۲۲ کیلومتری بخش نصرت‌آباد قرار دارد. اما به منظور دسترسی به این کانسار در فاصله ۱۵ کیلومتری از نصرت‌آباد به سمت زاهدان از جاده



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه (انتشارات جغرافیایی و کارتوگرافی گیتاشناسی نوین، ۱۳۹۸).

مشاهده می‌گردند. توصیف این واحدها از قدیم به جدید به شرح ذیل می‌باشد:

۳-۱-۱- واحد هارزبورژیت تا لرزولیت

این واحد سنگی که از جمله سنگ‌های اولترامافیک می‌باشد، تحت تاثیر فرآیند متاسوماتیسم قرار گرفته و اجزاء آن بشدت دگرسان شده‌اند. این واحد سنگی در واقع محدوده مورد مطالعه بوده و بطور عمده در اطراف گسل مرکزی محدوده برونزد دارد. به عبارت دیگر اکثر کنتاکت‌های آن با واحدهای مجاور گسلی می‌باشند. از نظر رنگ ظاهری، مشابه سایر واحدهای اولترامافیکی دارای رنگ تیره می‌باشد که به دلیل عملکرد فعالیت‌های ساختمانی از یک سو و متاسوماتیسم از سوی دیگر، به شدت دگرسان و خرد شده می‌باشد.

همان‌طور که بر روی نقشه زمین‌شناسی پیوست نیز کاملاً مشهود است، این واحد دارای روند ویا امتداد شمال غرب - جنوب شرق می‌باشد که با توجه به مطالب فوق‌الاشاره محدودیتی است که توسط فعالیتهای زمین ساختی ایجاد شده است. علاوه بر آن در بخش جنوبی نقشه و همچنین شمال شرقی - شرقی نقشه زمین‌شناسی پیوست نیز این واحد مشاهده می‌گردد، که در واقع ادامه همین روند هستند که با توجه به عملکرد فرسایشی و همچنین تکنونیک برونزد یافته‌اند (سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۱۹۹۵، سامانی و اشتری، ۱۳۷۱ا).

۳-۱-۲- واحد سرپانتینیت

این واحد سنگی در واقع از تبدیل شدگی هارزبورژیت‌ها و لرزولیت‌ها حاصل شده است. بنابراین در اکثر مناطقی که هارزبورژیت‌ها برونزد دارند، بخصوص در حواشی خود به سرپانتینیت تبدیل شده‌اند. در محدوده

۳- زمین‌شناسی محدوده کانسار شوین

۳-۱- لیتواستراتیگرافی کانسار شوین

منطقه مورد مطالعه در زون خاوری ایران قرار دارد. در محدوده مورد مطالعه در زون فلیش و در بخش اوفیولیتی آن جای دارد. اوفیولیت‌ها عموماً در زون فلیش سنگ کف منطقه را تشکیل می‌دهند و گاه در کنار گسل‌ها برونزد دارند. در محدوده مورد مطالعه نیز برونزد سنگ‌های اوفیولیتی ناشی از عملکرد گسل‌هایی در منطقه می‌باشد (شکل ۲).

به طور کلی در این قبیله واحدها:

-سنگ‌های اولترامافیک، مافیک شامل هارزبورژیت‌ها، هارزبورژیت‌های سرپانتینیزه شده، پیروکسنیت، سرپانتین.

-سنگ‌های مافیک شامل گابروها که عبارتند از گابرو و دایک‌های دولریتی و دیابازی

-سنگ‌های آهکی را می‌توان مشاهده نمود (سامانی و اشتری، ۱۳۷۱ا).

در محدوده معدنی شوین تمام سنگ‌های یاد شده در بالا مشاهده می‌شوند، اما این برونزدها به گونه‌ای است که حجم سنگ‌های آتشفانی زیر دریایی از جمله کراتوفیرها بر دیگر سنگها فزونی می‌یابد.

به طور کلی درمحدوده کانسار شوین واحدهای سنگی:

-هارزبورژیت تا لرزولیت

-سرپانتینیت

-گابروهای دگرسان شده

-دیاباز

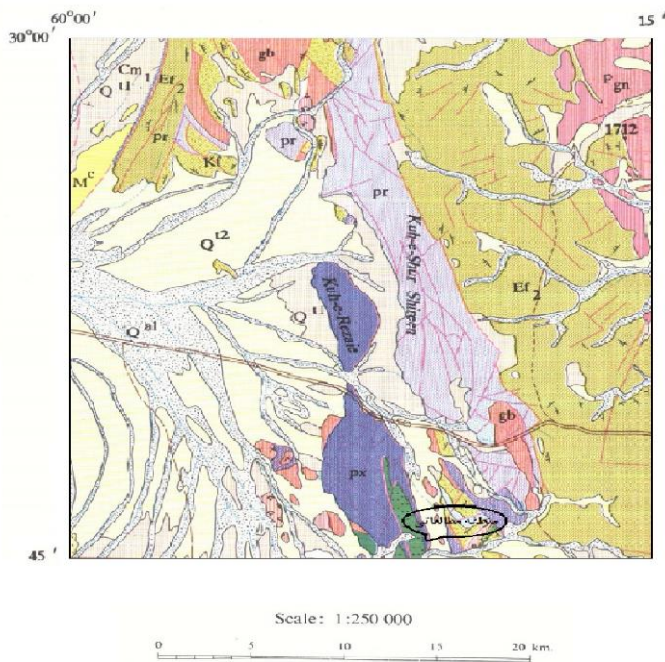
-کراتوفیر

-آهک

آگاه و حسینی نسب، اکتشاف آهن و کرومیت به وسیله مطالعات زمین شناسی و ژئوفیزیکی در منطقه شوین استان سیستان و بلوچستان، صفحات ۲۹۹-۳۱۶.

این واحد و همچنین واحد هارزبورژیتی دارای درز و شکافهای فراوانی هستند که توسط کانه‌های اکسیدی آهن و مقداری کربنات بطور ثانویه پر شده‌اند.

مورد مطالعه ترانشه‌ای حفر شده است که در آن محدوده، تبدیل شدگی تا آن حدی پیشرفته است که آثار هارزبورژیت به سختی قابل رویت است (سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۱۹۹۵، سامانی و اشتیری، ۱۳۷۱a).



شکل ۲: نقشه زمین‌شناسی ناحیه مورد مطالعه (سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۱۹۹۵).

این واحد واریزه‌های سیلیسی و دیابازی نیز دیده می‌شوند. عموماً دگرسانی گابروها ناشی از عمل متاسوماتیسم در هنگام چین‌خوردگی منطقه بوده است (سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۱۹۹۵، سامانی و اشتیری، ۱۳۷۱a).

۳-۱-۴- واحد دیاباز

این واحد سنگی بیشترین بروزند را در منطقه داشته و در واقع بخشی از گابروی دگرسان شده تصور می‌شود. به عبارت دیگر دایک‌های دیابازی وابسته به ماگمایی هستند که گابرو را تشکیل داده‌اند و معمولاً بصورت دایک‌هایی در آن دیده می‌شوند. به نظر می‌رسد که سطح پوشش دهنده

۳-۱-۳- واحد گابروهای دگرسان شده

بخش قابل‌توجهی از محدوده مورد مطالعه توسط این واحد سنگی پوشیده شده است که دارای ارتفاع کم بوده و در واقع یکی از واحدهای تشکیل دهنده دشت منطقه می‌باشد. این واحد بسیار خرد شده بوده و سنگ مادر آن فقط در ترانشه‌های ایجاد شده توسط دره‌هایی که در اطراف وجود دارند، دیده می‌شود. این واحد سنگی که عمدتاً در بخش‌های مرکزی و جنوبی نقشه بروزند دارد، حاوی واریزه‌های آهن می‌باشد. به عبارت دیگر در اثر از بین رفتن و فرسایش واحدهای بالاتر و سختی آهن، کانه‌های اکسیدی آهن که اکثراً به صورت هماتیت هستند بر روی این واحد و به شکل واریزه‌ای قرار می‌گیرند. علاوه بر آن بر روی

بصورت گسلی است و در پاره‌ای از موارد محدوده می‌توان روند تدریجی گابروی دگرسان شده را ما بین کراتوفیرها و هارزبورژیت‌ها مشاهده کرد. در این سنگ فئوکریست‌های کوارتز مشاهده می‌گردند که در خمیره‌ای از فلدسپات‌ها و سیلیس ریزدانه قرار دارند و علاوه بر آن دارای حفراتی است که نشان‌دهنده خروج گاز آن در زمان انجماد می‌باشد (سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۱۹۹۵، سامانی و اشتری، ۱۳۷۱a).

۳-۱-۶- واحد کربناتی

این واحد بصورت بسیار محدود و به صورت تپه منفردی در بخش جنوب غربی محدوده مطالعه برونزد یافته است البته در بخش شمال شرقی محدوده نیز که خارج از نقشه پیوست می‌باشد، برونزد دیگری از واحد کربناتی قابل مشاهده می‌باشد. این واحد سنگی در اثر فعالیت‌های زمین‌ساختی به شدت تکتونیزه و خرد شده بودند و روند عمومی سایر شکستگی‌ها شمال غربی - جنوب شرقی در این واحد نیز می‌توان مشاهده نمود (سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۱۹۹۵، سامانی و اشتری، ۱۳۷۱a).

۴- تکتونیک محدوده کانسار شوین

در این محدوده تکتونیک و به عبارتی دیگر فعالیت‌های زمین‌ساختی، کنترل کننده سایر پدیده‌های زمین‌شناسی منطقه بوده‌اند. به طوری که نحوه برونزد و شکل‌گیری واحدهای سنگی متأثر از محدودیت‌های تکتونیکی قبل از پیدایش بوده‌اند و از سوی دیگر پس از تشکیل و انجماد، همچنان متأثر از فعالیت‌های زمین‌ساختی بوده و در اثر آن به شدت تکتونیزه شده‌اند. در محدوده مورد مطالعه یک گسل اصلی وجود دارد که دارای امتداد عمومی N30W می‌باشد. این سیستم گسلی توسط یک سیستم دیگر با روند عمومی تقریباً N-S همراهی می‌شود و مجموعاً سنگ‌های منطقه را تحت تأثیر قرار داده‌اند (سامانی و اشتری، ۱۳۷۱a).

در اثر وجود این گسل‌ها، هارزبورژیت‌های برونزد یافته، سربانتینیتی شده و به خوبی آینه گسل را در تماس با کراتوفیرها نشان می‌دهند. علاوه بر آن واحدهای دیابازی هم بخش اسپیلیتی و هم بخش سیلیسی آن دچار شکستگی‌های فراوان هم جهت با روندهای فوق‌الذکر گردیده‌اند. به صورت پراکنده گسلهایی مشاهده می‌گردند که دارای روند N35E می‌باشد و باعث جابجایی واحدهای سنگی گردیده‌اند. این جابجایی‌های به عمل آمده در کلیه جهت‌های فوق‌الشاره در نقشه ژئوفیزیکی محدوده نیز قابل مشاهده است (سامانی و اشتری، ۱۳۷۱a).

۵- ماگماتیسیم محدوده کانسار شوین

محدوده مورد مطالعه توسط سنگ‌های آذرین اولترامافیکی تا خروجی پوشیده شده‌اند که در اثر روند تفریق یک ماگمایی تولایتی بوجود آمده‌اند. در طی این فرآیند کانی‌های موجود تحت تأثیر عمل

واحد دیابازی در اصل اسپیلیتی بوده‌اند که در اثر نفوذ ثانویه سیلیس به دیاباز تبدیل شده‌اند. لذا شاید صحیح‌تر باشد که در پاره‌ای از موارد آن را اسپیلیت نامید. همان‌طور که گفته شد بیشترین پوشش منطقه را دارد و در عین حال در خود تغییرات زیادی را نیز نشان می‌دهند. بطوریکه این واحد را می‌توان به دو واحد سیلیسی و دیابازی تفکیک نمود. در پاره‌ای از موارد و مناطق چنین بخش سیلیسی تمرکز پیدا کرده است که تولید تپه‌های خالص سیلیسی را نموده‌اند. از این تپه‌ها دو مورد در بخش شمال شرقی نقشه و یک مورد در بخش مرکزی و کنار هارزبورژیت‌ها قابل مشاهده است. علاوه بر آن برونزدهای پراکنده ولی فراوان سیلیس در بخش‌های شرقی محدوده مورد مطالعه نیز چشمگیر می‌باشد.

این واحد سنگی بطور اعم و بخش دیابازی و یا اسپیلیتی آن بطور اخص تحت تأثیر فعالیت‌های زمین‌ساختی قرار گرفته است و در نتیجه شکستگی‌ها و درزه‌شدگی‌هایی هم جهت با گسل اصلی شمال غربی - جنوب شرقی محدوده را از خود نشان می‌دهند.

ویژگی‌های کانی‌شناسی این واحد دیابازی - اسپیلیتی در مناطق نزدیک و یا دور از واحدهای هارزبورژیتی متفاوت است. بطوریکه حتی می‌توان در برخی از مناطق بطور مثال در مرکز نقشه محل کنتاکت آن با واحد هارزبورژیتی، ساب زون‌هایی را برای این واحد تعریف نمود که در آن میزان سیلیس به طور چشمگیری کاهش یافته، کانی‌های مافیک در آن افزایش یافته باشد.

کنتاکت این واحد با واحد هارزبورژیتی گسلی و با واحد گابروی دگرسان شده تدریجی می‌باشد، بطوریکه جدایش این دو واحد تا حدودی مشکل بوده و اینکار توسط نحوه تجمع کانی‌ها از یک سو مقاومت در مقابل فرسایش و ایجاد مناطق کم مرتفع‌تر از سوی دیگر امکان‌پذیر است (سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۱۹۹۵، سامانی و اشتری، ۱۳۷۱a).

۳-۱-۵- واحد کراتوفیری

این واحد سنگی بر روی گابروی دگرسان شده قرار دارد و به صورت تابعی از محدودیت‌های تکتونیکی، به شکل نوار پراکنده‌ای با روند شمال غرب - جنوب شرق برونزد یافته است. این سنگ‌ها عموماً وابسته به بخش‌های خروجی ماگمای گابرویی بوده که تفریق حاصل نموده‌اند و میزان سیلیس در آنها بالا رفته است، به طوری که سنگ‌ها دارای سیلیس آزاد شده‌اند و تشکیل کراتوفیرها را در محدوده داده‌اند. در حقیقت این سنگ‌ها با سنگ‌های بازالتی منطقه وابستگی ژنتیکی نشان می‌دهند و نسبت به آنها حالت تاخیری دارند. این واحد در واقع بالاترین لایه ماگمایی منطقه بوده و پس از اینکه ماگمای موجد سنگ‌های اولترامافیکی، تشکیل آن واحدها را به اتمام رسانده، باعث بوجود آمدن واحد کراتوفیری گردیده است.

برونزد این واحد در بخش‌های شمال و شمال غربی نقشه تشکیل ارتفاعاتی را داده است ولی در بخش‌های جنوبی نقشه بصورت تپه‌هایی برونزد یافته است. کنتاکت آن در بخش‌های شمالی با واحد هارزبورژیت

مافیک مورد نیاز است، تشکیل باندها و عدسی‌هایی از کانه‌های اکسیدی آهن را می‌دهند هر چند که اینگونه ذخایر آن پراکنده و کم اهمیت هستند. شاید بتوان گفت: این نوع ذخایر آهن مانند ذخایر منگنز وابسته به مجموع اوفیولیتی می‌باشد که در این صورت می‌توان چنین اظهار داشت که کانه‌زایی آهن یک نوع کانه‌زایی از نوع ماسیواکساید می‌باشد که عموماً در شرق ایران و بطور کلی در دنیا اینگونه کانسارهای آهن ارزش اقتصادی ندارند. از این جهت کانسار شوین را شاید بتوان با کانسار آهن و منگنز گوینچ خاش مقایسه نمود و هر چند که در اینجا کانی‌زایی در مقایسه با گوینچ بسیار کم اهمیت‌تر می‌باشد.

در روی سطح کانسار شوین پراکندگی‌هایی از آهن به صورت واریزه‌ای مشاهده می‌گردد که ارتباط زایشی و یا کنتاکت مشخصی با واحدهای لیئواستراتیگرافی زیرین ندارند. با توجه به مطالب فوق‌الذکر به نظر می‌رسد منشا واریزه‌های آهن در ارتباط با ماگمای بازیک با سری تولائیتی باشد که در سنگ‌های کراتوفیر تشکیل شده است. از آنجاکه کانه‌های آهن در مقایسه با کانه‌های تشکیل‌دهنده سنگ‌های کراتوفیر و سنگ‌های دیابازی از مقاومت مکانیکی و شیمیایی بالاتری برخوردار بوده‌اند و در هنگام، شستشو و لیچینگ درصد کانه‌های آهن در منطقه بالا رفته و در نهایت در بعضی از محدوده‌ها به عیارهای بالایی رسیده‌اند اما در این تکاپو سنگ‌های میزبان خود را به طور کامل از دست داده و بر روی سنگ‌های پایینتر سنگ‌های اولترامافیکی که هیچگونه وابستگی ژنتیکی با آنها نداشته قرار گرفته است به همین دلیل هیچگونه ارتباط ظاهری ما بین آهن با سنگ‌هایی که بر روی آنها قرار گرفته است، مشاهده نمی‌گردد و در حقیقت می‌توان گفت تجمع آهن در اینجا به صورت تفاله‌ای می‌باشد. ارتباط کانه‌های آهن و سرپانتینیت ها در ترانشه‌های حفر شده موید و شاهد این نظریه می‌باشند. به دلیل بیگانه بودن کانسنگ آهن با سنگ‌های زیرین و یا کنتاکت آن با سنگ‌های زیرین، این تصور ایجاد می‌گردد که این سنگ از جای دیگر منتقل شده باشد.

۷- ژنز کروم و چگونگی تمرکز آن در شوین

بعضی از نهشته‌های کانساری همراهی نزدیکی با سنگ‌های آذرین مافیک و اولترامافیک دارند. کرومیت که تنها کانی کانساری کروم می‌باشد، یکی از محصولات جدایش ماگماتیک است (سامانی و اشتری، ۱۳۷۱b). سنگ‌های اولترامافیک که کرومیت درون آنها یافت می‌شود خود به دو نوع لایه‌ای و آلپی تقسیم می‌گردند و در نتیجه کرومیت نیز به دو صورت لایه‌ای یا استراتیفرم و آلپی یا پودیفرم برونزد می‌یابد.

در صورتیکه منطقه مورد مطالعه دارای ابعاد خیلی وسیعی باشد، باید شبکه‌ای از ایستگاه‌های مبنا طراحی گردند. محل ایستگاه‌های مبنا باید در نقاطی انتخاب شوند که یا فاقد آنومالی و یا دارای آنومالی ضعیف مغناطیسی باشند. در صورتیکه مساحت منطقه مورد مطالعه زیاد نباشد، که معمولاً در اکتشاف مواد معدنی چنین است و وسعت مناطق مورد نظر

متاسوماطیسیم قرار گرفته و دگرسان شده و لذا ساب زون‌هایی را ایجاد نموده‌اند. از سویی دیگر فعالیتهای تکتونیکی چه قبل و چه بعد از جایگیری و تشکیل ماگمای مذکور نیز دخیل بوده‌اند (سامانی و اشتری، ۱۳۷۱a).

هر چند که بصورت بالقوه می‌توان انتظار تشکیل کانه‌های کرومیت و مگنتیت و احتمالاً تجمع آنها را به صورت اقتصادی در چنین واحدهایی داشت، اما آنچه که در محدوده شوین اتفاق افتاده است این چنین نبوده بلکه کانی‌های اوپاک به صورت غیر اقتصادی و پراکنده در سنگ‌های اولترامافیکی منطقه مشاهده می‌گردد.

روند کلی و عمومی تفریق ماگمایی شویند عبارت است از تشکیل هارزبورژیت ها و لرزولیت‌ها در مرحله اول، گابروها در مرحله دوم و نهایتاً کراتوفیرها بوده است که در این بین دگرسانی‌ها و نفوذهای سیلیس در منطقه باعث تشکیل سرپانتینیت ها و دیابازها گردیده است.

کانسارهای کیمرین از دو نوع منگنز دار و بدون منگنز بوده است که اغلب خاستگاه اولیه آتشفشانی - رسوبی. کانسارهای نوع آلپی عموماً همزاد کوهزایی بوده و از نوع گرمایی - اسکارنی می‌باشند که در بعضی مواقع با کانی‌سازی سولفور همراهی می‌شوند (سامانی و اشتری، ۱۳۷۱a).

امروزه بهره‌برداری عمدتاً از منابع دارای رخنمون و آشکار انجام می‌پذیرد ولی برای پی بردن به منابع و به منظور شناخت دقیق منابع آهن کشور، انجام مطالعات متالورژی و ژنز کانسارها ضرورت دارد تا به تناسب ماهیت و بافت طبیعی هر کانسار، الگوهای اکتشافی و بهره‌برداری مطرح و مورد مصرف آنها تعیین گردد.

۶- ژنز آهن و چگونگی تمرکز آن در شوین

ماگمای تعیین‌کننده سنگ‌های گابرویی، پیرولاوا و کراتوفیرها، یک ماگمای تولائیتی بوده که خوب تفریق حاصل کرده است. سنگ‌های کراتوفیری بیان‌کننده عمل تفریق می‌باشند. ماگمای تولائیتی شامل بازالت تولائیتی، سنگ‌های حد واسط و سنگ‌های اسیدی است. سری تولائیتی از نظر سدیم و پتاسیم و دیگر عناصر آلکالین، همچنین عناصر نادر خاکی و به طور کلی عناصر لیئوفیل با شعاع یونی زیاد و مواد فرار نسبت به سایر سری‌ها فقیرتر است. از طرف دیگر نورم حساب شده برای سری تولائیتی نشان می‌دهند که این سری از نظر سیلیس نسبت به سایر سری‌ها غنی‌تر است. سیلیس اضافی آن به صورت کوارتز و یا در ساختمان هیپرستن نورماتیو این سری به چشم می‌خورد (سامانی و اشتری، ۱۳۷۱b).

در نمودار AFM نورم‌های حد واسط سری تولائیتی از لحاظ آهن بسیار غنی‌تر از نورم‌های حد واسط سایر سری‌هاست به نظر کونو در نورم‌های حد واسط سری تولائیتی درصد زیاد آن به علت تفریق ماگمای تولائیتی تحت فشار بخشی کم اکسیژن بوده است.

معمولاً زمانی که یک ماگمای تولائیتی تفریق حاصل می‌کند، یک غنی‌شدگی از آهن صورت می‌گیرد اگر مقدار آهن بیشتر از آن مقداری باشد که در تشکیل مقدار کانی‌های آهن‌دار مانند پیروکسن‌ها و دیگر کانی‌های

پس از انجام عملیات شبکه‌بندی و مشخص نمودن نقاط اندازه‌گیری بر روی زمین، با استفاده از دستگاه مغناطیس‌سنجی که شرح آن گذشت، شدت کل میدان مغناطیسی نقاط مذکور و همچنین به تناوب شدت میدان مغناطیسی ایستگاه مبناء جهت ثبت تغییرات روزانه، اندازه‌گیری گردید. شدت کل میدان مغناطیسی هر نقطه سه بار قرائت گردیده و در صورت متغیر بودن، میانگین آنها به عنوان عدد مورد قبول یادداشت شده است. البته شایان ذکر است تغییرات اعداد قرائت شده در یک نقطه، در رقم یکان شدت میدان برحسب نانوتسلا می‌باشد. به این ترتیب در کانسار شوین حدود ۱۲/۶ کیلومتر خطی پیمایش مغناطیس‌سنجی صورت گرفته است که در این راستا شدت کل میدان مغناطیسی ۲۶۴ نقطه اندازه‌گیری گردیده که با احتساب سه بار قرائت در هر نقطه، در واقع تعداد ۷۹۲ قرائت شدت میدان صورت گرفته است که مختصات نقاط اندازه‌گیری برحسب ایستگاه‌ها که به راحتی قابل انطباق بر روی نقشه توپوگرافی. پس از انجام کلیه تصحیحات و محاسبات لازم بر روی اعداد خام برداشت شده، نقشه ژئوفیزیکی مربوطه تهیه گردیده است که در بخش آتی مورد تعبیر و تفسیر قرار خواهد گرفت.

۸-۱-۱-۸- بررسی نتایج مغناطیس‌سنجی

بر اساس آخرین نقشه‌های مغناطیس‌سنجی منتشر شده معتبر دنیا، شدت کل میدان مغناطیسی زمینه ناحیه مورد مطالعه حدود ۴۶۲۱۱ گاما، شدت میدان افقی ۳۹۰۰۲ گاما، شدت میدان افقی ۳۹۰۰۲ گاما، شدت میدان عمودی ۳۲۳۴۴ گاما، زاویه انحراف میدان مغناطیسی ۴۴°۲۵،۵ و زاویه میل مغناطیسی برابر ۱°۴۷'۹ می باشد. پس از انجام مراحل مختلف پردازش بر روی داده‌های خام اندازه‌گیری شده از شدت کل میدان مغناطیسی کانسار شوین، مقدار نهایی شدت کل میدان هر ایستگاه تعیین و سپس بر آن اساس نقشه شدت کل میدان مغناطیسی منطقه که نسبت به قطب نیز تصحیح شده است و بیانگر چگونگی تغییرات شدت کل میدان مغناطیسی منطقه که نسبت به قطب نیز تصحیح شده است و بیانگر چگونگی تغییرات شدت کل میدان در ناحیه می‌باشد، تهیه گردیده است (شکل‌های ۳-۴). بر روی نقشه مغناطیس‌سنجی منطقه مورد مطالعه، تناوبی از مناطق با شدت‌های زیاد و کم میدان مغناطیسی مشاهده می‌گردد که بطور ردیفی و با روند تقریباً شمالی - جنوبی مشاهده می‌گردند. در بخش‌های مرکزی و تا حدودی شمال شرقی نقشه، شدت‌های زیاد میدان مغناطیسی غالب بوده، در حالیکه در بخش‌های غربی و تا حدی جنوب شرقی نقشه، شدت‌های کم حاکم هستند.

از چند کیلومتر مربع تجاوز نمی‌کند، به شبکه مبناء احتیاجی نبوده و یک ایستگاه مبناء و یک دستگاه مگنتومتر کافی است.

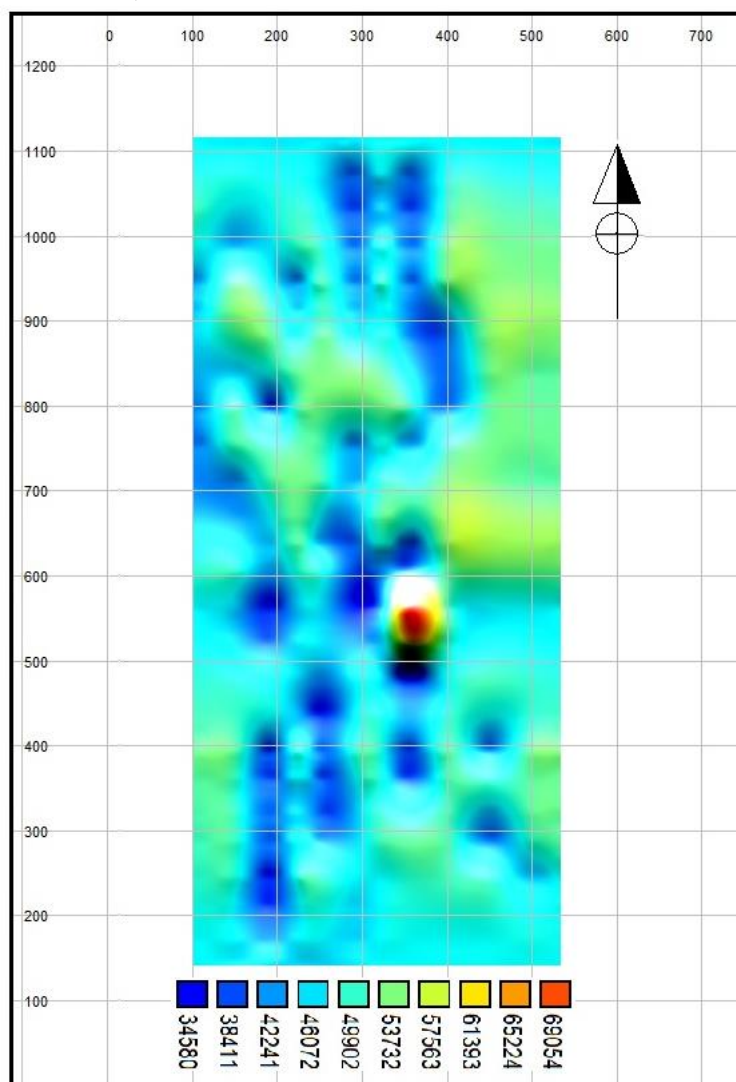
۸- عملیات صحرائی و پردازش‌های انجام شده

۸-۱- بررسی‌های مغناطیس‌سنجی کانسار آهن شوین

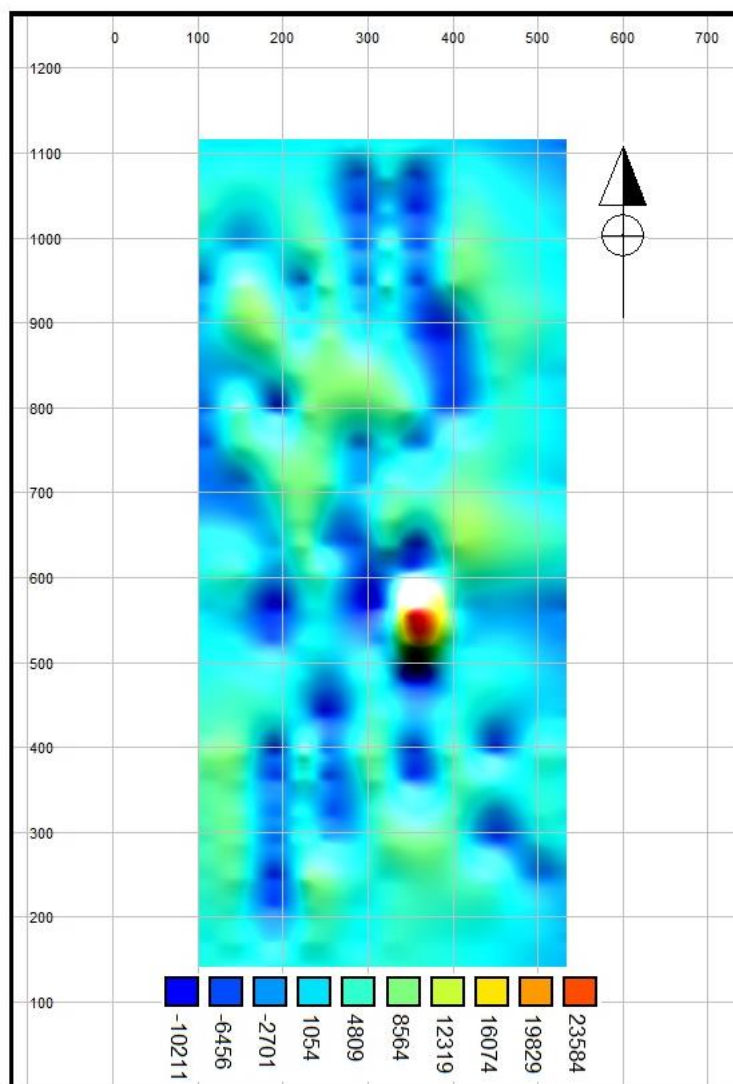
امروزه برای اندازه‌گیری شدت میدان مغناطیسی دستگاه‌های متعدد و پیشرفته‌ای ساخته شده است که می‌توانند شدت کل میدان مغناطیسی، مولفه قائم و یا مولفه افقی آن را اندازه‌گیری کنند. در مطالعات ژئوفیزیکی انجام شده در کانسار شوین، از یکی از مدرن‌ترین و پیشرفته‌ترین دستگاه‌های مغناطیس‌سنج بنام مگنتومتر پروتون مدل G856 که دارای حساسیت ۰/۰۱ نانوتسلا می‌باشد، استفاده گردید.

همان‌طور که در بخش زمین‌شناسی نیز ذکر شد، در محدوده کانسار شوین برونزدهایی از واحد اولترامافیک مشاهده می‌گردند که بطور بالقوه می‌توانند دارای کانه‌های اکسیدی آهن و کروم باشند. لذا به منظور انجام مطالعات ژئوفیزیکی (روش مغناطیس‌سنجی) در شوین و اکتشاف کانه‌های اکسیدی آهن و کرومیت، ابتدا شبکه برداشت نقاط به نحوی طراحی گردیدند که در برگیرنده تمامی رخنمون‌های اولترامافیکی مشکوک بوده و همچنین بیشترین پوشش را نسبت به گسل مرکزی که از محدوده مورد مطالعه عبور می‌کند، ارائه نماید. سپس با استفاده از یک دستگاه دوربین تئودولیت، آن نقاط بر روی زمین پیاده و میخ‌کوبی گردیدند. پروفیل اصلی نقاط برداشت، دارای امتداد تقریبی بوده و طول آن ۱۰۵۰ متر است. سایر پروفیل‌ها به موازات پروفیل اصلی و در فواصل ۵۰ متری از یکدیگر بوده و تعداد آنها یازده عدد (با احتساب پروفیل اصلی جمعاً برابر دوازده پروفیل) می‌باشد. بنابراین ابعاد محدوده مورد برداشت بر روی هر پروفیل، برابر با ۵۰ متر و در پاره‌ای از موارد (در اطراف گسل مرکزی و رخنمون سنگ‌های مافیکی که هدف اصلی کاوش بوده اند) برابر ۲۵ متر می‌باشد که با استفاده از میخ چوبی علامت‌گذاری شده‌اند. بر روی هر میخ چوبی شماره ایستگاه و شماره پروفیل مربوطه یادداشت شده است. در این باره متذکر می‌گردد که ترتیب شماره‌گذاری ایستگاه‌ها بر روی هر خط از غرب به شرق و ترتیب شماره‌گذاری خطوط از جنوب به شمال بوده است. بنابراین تراکم شبکه برداشت با توجه به نزدیکی و یا دوری از رخنمون‌های واحدهای مافیکی و گسل مرکزی و همچنین با عنایت به ویژگی‌های زمین‌شناسی و سنگ‌شناسی محدوده برابر ۲۵*۵۰ و یا ۵۰*۵۰ متر بوده است.

آگاه و حسینی نسب، اکتشاف آهن و کرومیت به وسیله مطالعات زمین شناسی و ژئوفیزیکی در منطقه شوین استان سیستان و بلوچستان، صفحات ۲۹۹-۳۱۶.



شکل ۳: تصویر برگردان به قطب داده‌های مغناطیس‌سنجی در منطقه مورد مطالعه.



شکل ۴: تصویر آنومالی باقی‌مانده داده‌های مغناطیس‌سنجی در منطقه مورد مطالعه با روش ارتونرمال.

نازک و همچنین با عنایت به نمودار XRD تهیه شده، حضور کانه هماتیت در کانسار شوین بیشتر از کانه مگنتیت بوده و بخشی از آن اولیه و بخشی از تبدیل‌شدگی مگنتیت حاصل شده است و از سویی دیگر سنگ‌های در برگیرنده کانسار، خود دارای کانی‌های اوپاک عمدتاً مگنتیت فراوان می‌باشند. بنابراین مناطق با شدت میدان مغناطیسی زیاد می‌تواند ناشی از اثرات کانی‌های اوپاک موجود در سنگ‌های مافیک منطقه که طبیعی است از لحاظ داشتن چنین کانی‌های غنی باشند بوده باشد.

با توجه به هماتیتی بودن نوع کانه اکسید آهن برونزد یافته در واریزه‌های آهن‌دار منطقه، تمرکزهای آهن دارای ویژگی‌های خاصی از لحاظ ژئوفیزیکی هستند کانه هماتیت بر روی میدان مغناطیسی بی‌تأثیر ولی مگنتیت موثر است بطوریکه مناطق با شدت‌های زیاد میدان مغناطیسی، تقریباً در مرکز و میان مناطق با شدت کم میدان مغناطیسی قرار گرفته‌اند و این در حالی است که مناطق حاوی واریه‌های هماتیتی عمدتاً در نواحی شرقی و جنوب شرقی محدوده مورد مطالعه مشاهده می‌گردند.

ویژگی‌های ژئوفیزیکی مشاهده شده بر روی نقشه شدت کل میدان مغناطیسی، عمدتاً ناشی از خصوصیات پتروگرافی و زمین‌شناسی محدوده مورد مطالعه می‌باشد. به گونه‌ای که تا حدودی با واحدهای زمین‌شناسی محدوده مورد مطالعه می‌باشد. به گونه‌ای که تا حدودی با واحدهای زمین‌شناسی و وقایع زمین‌ساختی محدوده تطابق دارند و به راحتی می‌توان مناطقی را که توسط سنگ‌های گروه مافیکی و اولترامافیکی پوشیده شده‌اند را از سایر مناطق جدا نمود. مناطق پوشیده شده توسط سنگ‌های گروه مافیکی و اولترامافیکی از شدت میدان مغناطیسی بالاتری برخوردار هستند و ضمن اینکه بر روی مناطق مجاور نیز اثر گذاشته‌اند. علاوه بر آن اثر وجود گسل عمده‌ای که تقریباً از مرکز محدوده مورد مطالعه عبور می‌کند، مراکز با شدت‌های زیاد که تحت تأثیر قرار گرفته در واقع سنگ‌های مافیک و لذا از خود کشیدگی‌هایی با جهت تقریباً شمالی - جنوب را نشان می‌دهند.

در تعبیر و تفسیر نقشه شدت کل میدان مغناطیسی باید به دو نکته توجه داشت. باتوجه به مطالعات زمین‌شناسی صحرایی و پتروگرافی مقاطع

مافیک و به تبع آن مناطق دارای شدت میدان مغناطیسی بالا در امتداد و راستای گسل مزبور (شمالی - جنوبی) بوده و لذا شاهد وجود آنومالی‌های کاذبی از مناطق با شدت بالا با امتداد اشاره شده بر روی نقشه ژئوفیزیکی منطقه هستیم. در مجاورت این مناطق و به صورت نسبتاً باریک و با همان امتداد شمال - جنوب شاهد وجود مناطق با شدت کم میدان مغناطیسی هستیم. این پدیده حاکی از این است که ماده بوجود آورنده شدت بالای مغناطیسی به صورت یک دایک بوده که دارای شیب نسبتاً کمی می‌باشد. به عبارت دیگر دایک مزبور، بیانگر و تایید کننده این مطلب است که سنگ‌های گروه مافیکی و اولترامافیکی از طریق صفحه گسل بالا آمده‌اند.

به نظر می‌رسد پس از طی مراحل فوق‌الذکر، فعالیتهای زمین‌ساختی دیگری بوقوع پیوسته و در نتیجه آن سنگ‌های گروه مافیکی و اولترامافیکی جابجا شده‌اند. در بخش‌های متعدد و جداگانه‌ای از نقشه شدت کل میدان مغناطیسی تهیه شده، شاهد جابجایی واحدهای با شدت بالای مغناطیسی هستیم که دارای امتداد شمال غرب - جنوب شرق بوده و ایجاد جابجایی در جهت شمال شرق - جنوب غرب نموده است.

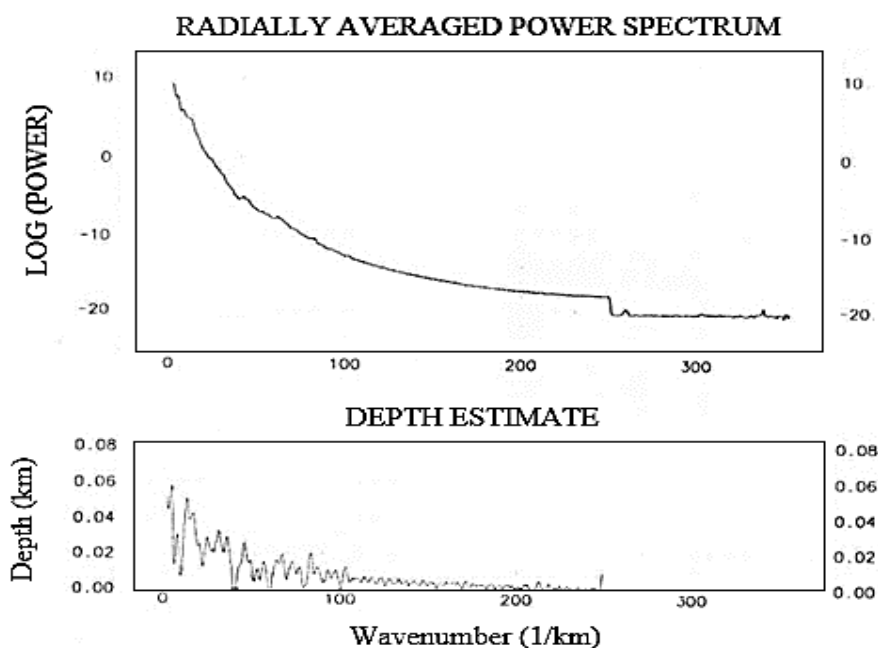
بر اساس مقادیر پردازش شده شدت میدان مغناطیسی، علاوه بر نقشه شدت کل میدان که شرح آن گذشت، نمودار اسپکتروم منطقه نیز تهیه شده است که نشان دهنده چگونگی توزیع تمرکزهای آهن در عمق می‌باشد. همانگونه که در آن نمودار نیز مشخص است، شدت‌های میدان مغناطیسی قرائت شده مربوط به توده‌ای با عمق متوسط ۲۵-۳۰ متر است که دارای ضخامت خیلی کمی بوده و در سایر موارد عمده سطحی می‌باشد (شکل ۵).

این مناطق از خود بازتاب مغناطیسی با شدت‌های کم تا متوسط رنگ آبی روشن تا سبز بر روی نقشه نشان می‌دهند که با سرشت هماتیت همخوانی دارد. شایان ذکر است که مشاهده رنگهای مذکور در سایر نقاط نقشه نشانه وجود هماتیت نبوده بلکه فقط تابعی از شدت میدان مغناطیسی می‌باشند.

از سوی دیگر کرومیت نیز که به صورت بالقوه می‌تواند در این منطقه وجود داشته باشد، دارای خاصیت مغناطیس شونده‌گی زیادی است اما از آنجا که در مشاهدات صحرایی و همچنین بررسی‌های میکروسکوپی و نمودار XRD تهیه شده آثاری از وجود این کانه مشاهده نگردیده است، لذا پدیده‌های ژئوفیزیکی مشاهده شده عمدتاً ناشی از وجود و یا عدم وجود مگنتیت کانی‌های اوپاک مشاهده شده در مقاطع نازک در سنگها می‌باشد.

بیشترین شدت میدان مغناطیسی قرائت شده برابر ۵۲۱۸۰ نانو تسلا بوده که بر روی پروفیل شماره-۵ و ایستگاه شماره ۴-قرائت شده است. کمترین آن مربوط به ایستگاه شماره ۱- بر روی پروفیل شماره ۶- بوده است که برابر ۴۵۰۸۵ نانوتسلا می‌باشد.

یکی از عوامل تاثیرگذار بر روی ویژگی‌های نقشه ژئوفیزیک محدوده مورد مطالعه، فعالیت‌های زمین‌ساختی منطقه می‌باشد، بر روی نقشه شدت کل میدان مغناطیسی دو نوع و یا دو سیستم گسلی قابل تشخیص است. یکی از سیستم‌های دارای جهت تقریباً شمالی - جنوبی بوده که در اثر عملکرد آن سنگ‌های مافیکی و اولترامافیکی بر روی سطح زمین ظاهر شده‌اند و از آنجا که این تیپ از سنگها خود بخود دارای پراکندگی‌هایی از کانه‌های اوپاک عمدتاً مگنتیت در خود می‌باشند، لذا باعث بالا رفتن شدت میدان کل مغناطیسی شده‌اند. یادآوری می‌نماید فراوانی مقدار کانی اوپاک (مگنتیت) به منزله وجود کانسار نیست. بدیهی است که برونزد سنگ‌های



شکل ۵: نمودار اسپکتروم منطقه مورد مطالعه.

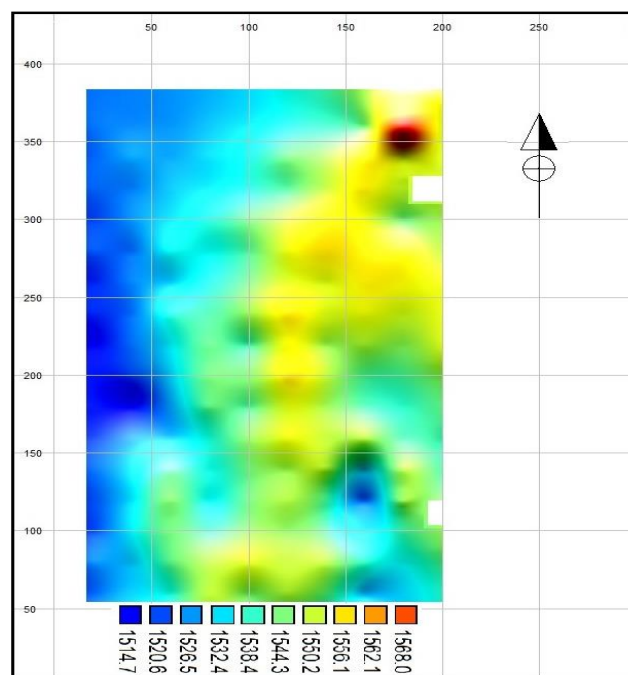
۸-۲- بررسی‌های گرانی‌سنجی کانسار کروم شوین

عملیات و بررسی‌های گرانی‌سنجی انجام شده بر روی کانسار کرومیت شوین که جزئیات آن همراه با نقشه و تعبیر و تفسیرهای انجام شده است.

برای انجام برداشتهای صحرایی ابتدا محدوده کانسار به وسعت ۱۰ هکتار مورد نقشه‌برداری توپوگرافی در مقیاس ۱:۱۰,۰۰۰ قرار گرفته و تعداد حدود ۲۰۹ نقطه به صورت شبکه‌بندی منظم میخ‌کوبی و مختصات آنها تعیین گردید و سپس اندازه‌گیری‌های گرانی‌سنجی در نقاط نقشه برداری شده انجام گرفت است.

برای این منظور ۲۰۹ نقطه جهت برداشت گرانی‌سنجی به عنوان روش مناسب کاوش منابع کرومیت با شبکه بندی ۲۰ متر در ۲۰ متر در ۱۱ پروفیل در نظر گرفته شده است. ضمناً از ارقام برخی نقاط به دلیل عوارض تند زمین و ایجاد خطا در پردازش داده‌ها استفاده نشده است. بنابراین نقاطی که از لحاظ فنی قابل پردازش بوده مورد استفاده قرار گرفته‌اند.

در ابتدا عملیات نقشه‌برداری جهت تعیین ارتفاع این نقاط انجام پذیرفت و سپس توسط دستگاه گرانی سنج لاکوست-رومبرگ مقادیر گرانی نسبی در این نقاط اندازه‌گیری شد (شکل ۶).



شکل ۶: تصویر ارتفاعی منطقه مورد مطالعه.

منطقه عملیات گرانی‌سنجی در حوالی نصرت‌آباد از توابع زاهدان می‌باشد. عملیات شامل: کالبرزنی دستگاه، قرائت در ایستگاه‌ها و تعیین گرانی نسبی ایستگاه‌ها می‌باشد.

برای این منظور در طی مدت چهار روز (در بازه‌های زمانی حدود دو ساعت (دو لوپ در صبح و دو لوپ در بعد از ظهر) عملیات برداشت داده‌های خام گرانی صورت پذیرفت که در مجموع حدود پنجاه قرائت نیز به عنوان کنترل عملیات برداشت انجام شد.

به علت شرایط حاکم بر مناطق مرزی و به خصوص بیابان‌های مناطق مرزی شرق کشور حضور در منطقه برای انجام عملیات قبل از ساعت ۷ صبح و پس از ساعت ۵ بعدظهر امکانپذیر نبود.

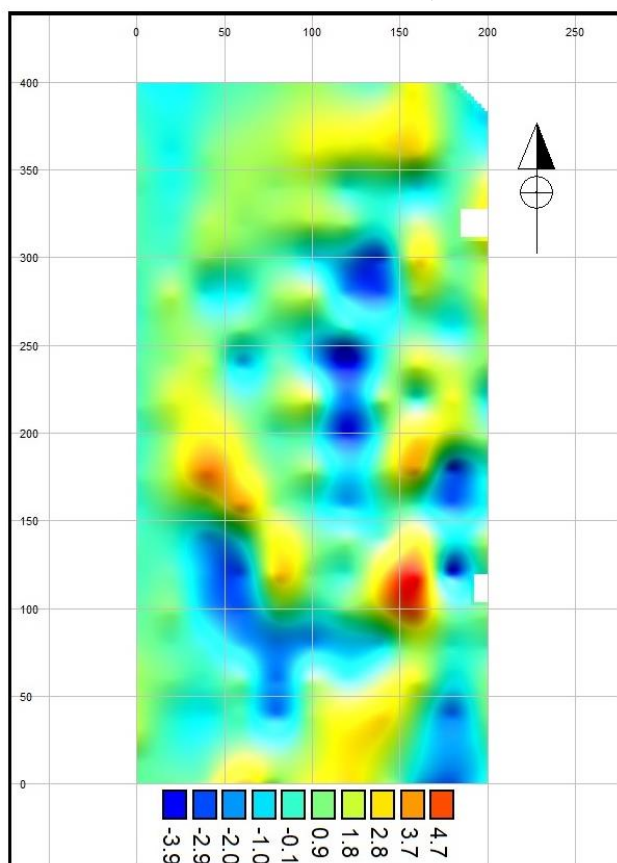
از مجموع نقاط در نظر گرفته شده برای انجام عملیات برداشت گرانی، ۱۶۵ داده مقادیر قابل پردازش بود. دلایل متعددی جهت حذف وجود دارند که از آن جمله می‌توان به شیب بیش از ۶۰ درجه، سنگلاخی بودن بیش از حد نقطه و عدم وجود میخ‌های به کار رفته در عملیات نقشه‌برداری اشاره کرد.

در این عملیات از دستگاه لاکوست - رومبرگ مدل G296 استفاده شده است که دقت آن ۰/۰۱ میلی گال می‌باشد.

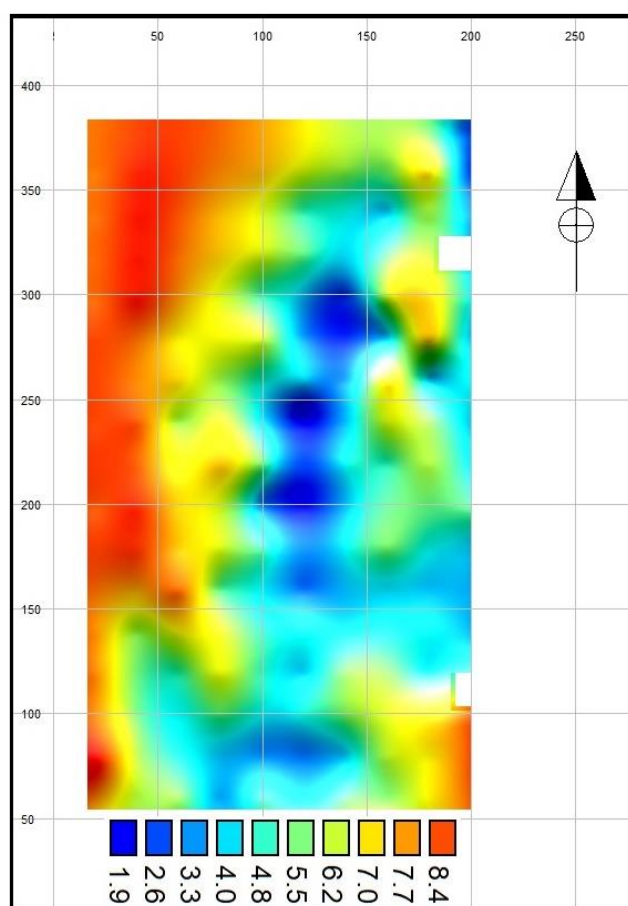
دستگاه‌های گرانی‌سنج دارای جداولی هستند که اعداد قرائت شده را با یک ضریب به عدد واقعی (عدد اندازه‌گیری) تبدیل می‌کنند. ولی متأسفانه پس از مدتی اعتبار این جداول از بین رفته و قابل استفاده نیستند. به منظور اطمینان از سالم بودن دستگاه و در صورت نیاز، تعیین ضرایب جدید اقدام به کالبرزنی دستگاه می‌گردد.

اثر نیروهای کشندی و رانه دستگاه از جمله عواملی هستند که در موقع قرائت ایستگاه‌ها باعث انحراف از مقدار واقعی می‌گردند. در این عملیات به واسطه وسعت کم منطقه عملیاتی، اثر کشند در محاسبه رانه دستگاه منظور شده است.

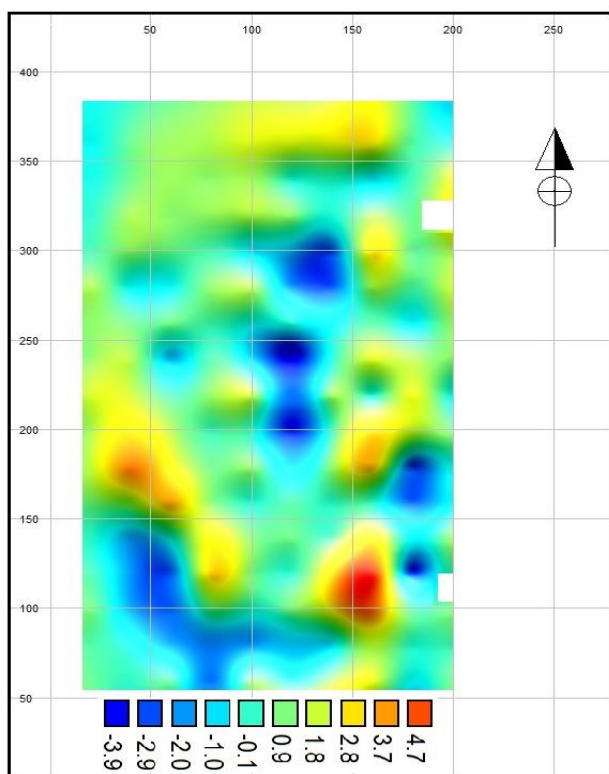
پس از انجام تمامی تصحیحات و محاسبات لازم بر روی اعداد خام برداشت شده، نقشه بی‌هنجاری باقیمانده به روش‌های تقریب کمترین مربعات و ارتونرمال مربوطه تهیه شد؛ که در بخش آتی مورد تعبیر و تفسیر قرار خواهد گرفت (شکل‌های ۷ تا ۱۰).



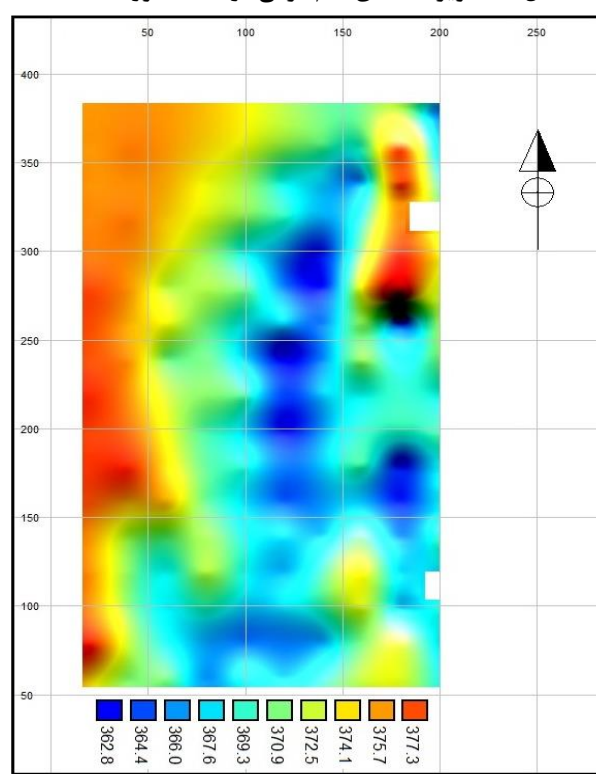
شکل ۹: تصویر آنومالی باقی مانده گرانی با روش تقریب کمترین مربعات در منطقه مورد مطالعه.



شکل ۷: تصویر داده های خام گرانی در منطقه مورد مطالعه.



شکل ۱۰: تصویر آنومالی باقی مانده گرانی در منطقه مورد مطالعه با روش ارتونرمال.



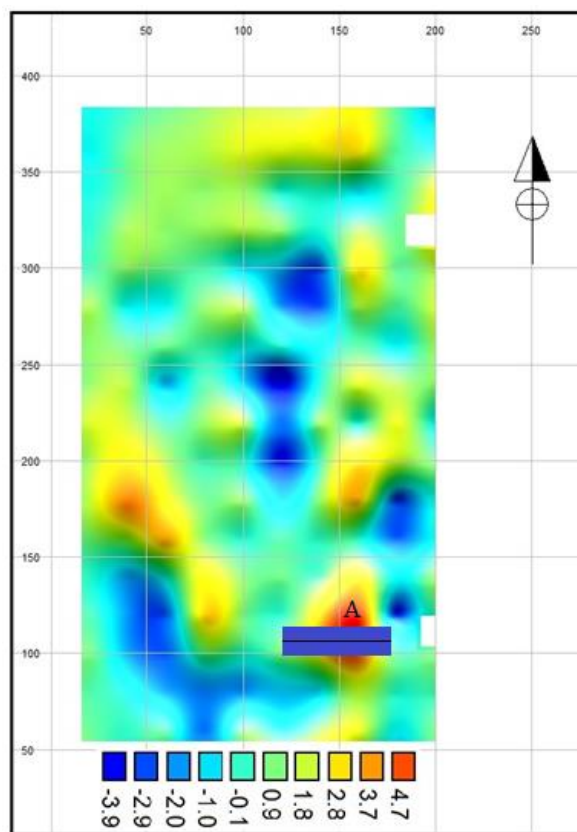
شکل ۸: تصویر آنومالی بوگه در منطقه مورد مطالعه.

هندسی (از جمله عمق مدل و...) و فیزیکی (از جمله دانسیته مدل و...) پلیگون مورد نظر یک به یک آزاد گذاشته شد و با عملیات تکرار (۲۰ تکرار) جواب حاصل از پلیگون محاسبه گردید. این عملیات تکرار شد تا این که خطای مدل‌سازی به کمتر یا مساوی خطای هدف رسید و منحنی‌های جواب مدل و آنومالی بوگه بر هم برازش نمودند. با اتمام مدل‌سازی، پارامترهای هندسی و فیزیکی ساختمان تعیین گردید. بر اساس نمودارهای بی‌هنجاری باقی‌مانده به روش‌های "تقریب کمترین مربعات"، "ارتونرمال" و مدل‌سازی انجام شده وجود توده مدفون با چگالی در حدود ۴/۴ گرم بر سانتی‌متر مکعب نتیجه گرفته شد. لذا احتمال وجود توده کرومیتی در منطقه مورد مطالعه زیاد می‌باشد. برای اطمینان بیشتر از نتیجه مطالعه پیشنهاد می‌گردد تا زمین‌شناسی منطقه در نقشه با مقیاس ۱:۱۰,۰۰۰ بررسی گردد (شکل‌های ۱۲-۱۱).

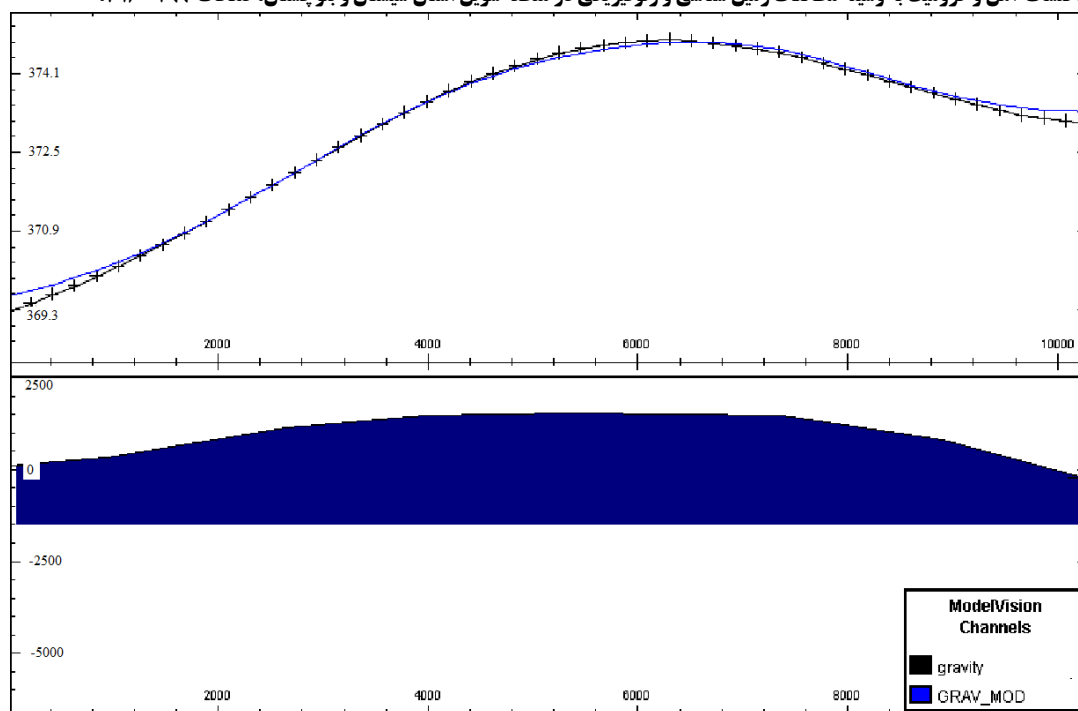
۸-۲-۱- بررسی نتایج گرانی‌سنجی

همبستگی نسبتاً بالای نمودارهای رسم شده حاکی از روند مطلوب پردازش در داده‌های منطقه است.

در ابتدا برای مدل‌سازی دو بعدی بر روی یک پروفیل، مقطع عرضی آن پروفیل رسم و مقدار ۲/۲ و ۳/۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب به ترتیب برای دانسیته زمینه و مدل فرضی در نظر گرفته شد. سپس یک پلیگون به عنوان فرض اولیه بر روی مقطع عرضی آن پروفیل رسم و جواب حاصل از آن بوسیله مدل‌سازی پیشرو محاسبه گردید. در مرحله بعد با بررسی خطای حاصل از این مدل فرضی مشخص گردید که خطای مدل‌سازی بیشتر از خطای هدف (که در این جا ۲ انتخاب شده است) می‌باشد. لذا جهت انطباق منحنی‌های مقادیر اندازه‌گیری شده (داده‌های آنومالی بوگه) و محاسبه شده از مدل‌سازی و کاهش خطا، مدل‌سازی معکوس پارامتری انجام گردید. بدین منظور ابتدا در باکس مدل‌سازی معکوس پارامترهای



شکل ۱۱: مقطع رسم شده بر روی آنومالی A در نقشه آنومالی باقی‌مانده روش ارتونرمال به همراه مدل دو بعدی بدست آمده در منطقه مورد مطالعه.



شکل ۱۲: مدل دو بعدی آنومالی A با خطای $RMS = 1/8$.

شواهد زمین‌شناسی در خصوص نحوه حضور سنگ‌های اولترامافیکی تطابق دارد.

۴- با توجه به مطالعات انجام شدت و با عنایت به ژنز کانه‌های آهن در منطقه و عدم وجود آن در ناحیه شوین، به نظر می‌رسد انجام مطالعات تکمیلی (به عنوان مثال پیمایش گرانی‌سنجی در این محدوده و یا حفاری) ضرورتی نداشته باشد.

ب- گرانی‌سنجی

همبستگی نسبتاً بالای نمودارهای رسم شده حاکی از روند مطلوب پردازش در داده‌های منطقه است.

بر اساس نمودارهای بی‌هنجاری باقی‌مانده به روش‌های "تقریب کمترین مربعات"، "ارتونرمال" و مدل‌سازی انجام شده احتمال وجود توده کرومیتی در منطقه مورد مطالعه زیاد می‌باشد. برای اطمینان بیشتر از نتیجه مطالعه پیشنهاد می‌گردد تا زمین‌شناسی منطقه در نقشه با مقیاس ۱:۱۰,۰۰۰ بررسی گردد.

۱۰- منابع

آزاد، م.، کنشلو، م.، کامکار روحانی، ا.، ۱۳۹۲، به کارگیری روش آنالیز کریجینگ فاکتوری در فیلتر کردن ساختارهای داده‌های گرانی‌سنجی منطقه معدنی کرومیت فاراب، م. فیزیک زمین و فضا، جلد ۳۹، شماره ۴، ۶۱-۷۲.

۹- نتیجه‌گیری

الف - مغناطیس‌سنجی

با توجه به مطالعات اکتشافی انجام شده در کانسار شوین که شرح کامل نتایج حاصله در بخش‌های مربوطه ارائه شده است، نتایج و پیشنهادات ذیل قابل حصول و ارائه می‌باشند:

۱- کانسار شوین که در محدوده نصرت‌آباد واقع گردیده در همراهی با سنگ‌های اولترامافیک و مافیکی (هارزبورژیت تا گابرو) بوده و سنگ آهن مشاهده شده در آن به صورت هماتیت می‌باشد، هر چند مگنتیت بصورت پراکنده در متن سنگ‌های اولترامافیکی و یا در درون درز و شکافهای آنان بصورت پراکنده قابل مشاهده می‌باشد که البته اقتصادی نیستند.

۲- هماتیت‌های مشاهده شده در کانسار شوین دارای هیچگونه ارتباط زایشی و ژنتیکی با گابروهای دگرسان شده که بر روی آن قرار گرفته‌اند نمی‌باشند. در واقع منشاء آهن در ارتباط با ماگمای بازیک سری تولایت بوده است که بدلیل مقاومت مکانیکی و شیمیایی بالاتری که دارند، در هنگام شستشو و لیچینگ درصد آن بالا رفته و بر روی سنگ‌های پایین تر (گابروها) که هیچگونه وابستگی ژنتیکی با آنها ندارند قرار گرفته‌اند. در حقیقت می‌توان گفت تجمع آهن در اینجا بصورت تفاله‌ای می‌باشد.

۳- بررسی‌های مغناطیس‌سنجی حکایت از آن دارند که در این محدوده هیچ گونه تجمع کانه آهن غنی در عمق مشاهده نمی‌گردد و در واقع شدت‌های مغناطیسی بالای مشاهده شده متأثر از وجود کانی‌های مگنتیت در درون سنگ‌های اولترامافیکی بوده و بصورت یک دایک می‌باشند. مناطق با شدت بالای مغناطیسی بیانگر یک دایک است که با

نشریه پژوهش‌های ژئوفیزیک کاربردی، دوره ۷، شماره ۳، ۱۴۰۰.

- to pole process on aeromagnetic data of Ibadan Area, South-Western Nigeria, *Earth Science Research*, 2(1): 66-84.
- John, M. R., 1997, *An introduction to applied and environmental geophysics*, John Wiley, 796 pages.
- Joshua, E. O., Layade, G. O., Akinboboye, V. B., Adeyemi, S. A., 2017, magnetic mineral exploration using ground magnetic survey data of Tajimi area, Lokoja, *Global Journal of Pure and Applied Sciences*, 23.
- Hornika, E., Targosz, p., Loska, M., Wojdyla, M., 2020, Complex geophysical investigation in search of chromite deposits at Ljuboten Greenfield site, Conference Proceedings, NSG2020 3rd Conference on Geophysics for Mineral Exploration and Mining, Volume 2020, pp: 1 – 5.
- Kogel, J. E., Trivedi, N. C. and Barker, J. M., (Eds.), 2006, *Industrial Minerals and Rocks: Commodities, Markets, and Users*, SME (Society for Mining, Metallurgy, and Exploration), 1556p.
- Moazam, S., Aghajani, H., Rezaie, M., 2019, Edge detection of chromite lenses using curvature gravity gradient tensor, *Journal of Analytical and numerical method in mining engineering*, 9(19): 101-111.
- Paterson, N. R., and Reeves, C. V., 1985, Applications of gravity and magnetic surveys: The state-of-the-art in 1985, *Geophysics*, 50(12): 2558-2594.
- Sampio, E. E. S., Batista, J. C., Santos, E. S. M., 2021, Interpretation of geophysical data for iron ore detailed survey in Laje, Bahia, Brazil, *An Acad Bras Cienc*, 93(1).
- Scott, W. J. and Geo, P., 2014, *Geophysics for mineral exploration*.
- Siemon, B., 2001, Improved and new resistivity _depth profiles for helicopter electromagnetic data, *Journal of Applied Geophysics*, 4: 250-269.
- Telford, W. Geldart L. & Sheriff R., 1990, *An Introduction to Applied Geophysics*, Cambridge University Press. New York, pp 283-292 & 522-577.
- Yaghubpur, A., 2005, Mineral deposits of Iran: a brief review, in mineral resources and development, mineral resources and development, Edited by G. S. Roonwal, K. Shahriar and H. Ranjbar, Daya, 191-202.
- Zhang, J., Zeng, Z., Zhao, X., Li, J., Zhou, Y., Gong, M., 2020, Deep Mineral Exploration of the Jinchuan Cu–Ni Sulfide Deposit Based on Aeromagnetic, Gravity, and CSAMT Methods, *Mineral*, 10(2).
- آقاجانی، ح.، ۱۳۹۱، انجام پیمایش و مطالعات ثقل‌سنجی در محدوده کرومیت شرق سبزار، طرح پژوهشی، دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک، دانشگاه صنعتی شاهرود.
- انتشارات جغرافیایی و کارتوگرافی گیتاشناسی نوین، ۱۳۹۸، نقشه گردشگری استان سیستان و بلوچستان.
- سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۱۹۹۵، نقشه ۱:۲۵۰۰۰۰ زاهدان.
- سامانی، ب.، اشتری، ش.، ۱۳۷۱ا، تکوین زمین‌شناسی ناحیه سیستان و بلوچستان، علوم زمین، شماره ۴، سازمان زمین‌شناسی کشور، ۱۴-۲۵.
- سامانی، ب.، اشتری، ش.، ۱۳۷۱ب، چرخه‌های فلزایی و مدل متالوژنی ناحیه سیستان و بلوچستان، علوم زمین، شماره ۵، سازمان زمین‌شناسی کشور، ۲۶-۳۵.
- کامکار روحانی، ا.، ۱۳۸۷، پردازش، مدل‌سازی، تحلیل و تفسیر داده‌های ژئوفیزیکی (گرانی و مغناطیس) برای اکتشاف کرومیت در منطقه فاریاب، طرح پژوهشی، دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک، دانشگاه صنعتی شاهرود.
- Adagunodo, T. A., Sunmonu, L. A. Adeniji, A. A., 2015, An overview of magnetic method in mineral exploration, *Journal of Global Ecology and Environment*, 3(1): 13-28.
- Amobi Adebisi, M., 2018, Ground magnetic survey for the investigation of Iron ore deposit at Oke-Aro in Iseyin east, south-western Nigeria, *International Journal of Geosciences*, 9(7).
- Bishop, J. R., and Lewis, R. J. G., 1992, Geophysical signatures of Australian volcanic hosted Massive Sulfide deposits, *Economic Geology*, 87: 913-930.
- Carlson, T. N., and Ripley, D. A., 1997, On the relation between NDVI, fractional vegetation cover, and leaf area index, *Remote Sensing of Environment*, 62(3): 241-252.
- Chander, G., Markham, B. L., and Helder, D. L., 2009, Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI sensors, *Remote Sensing of Environment*, 113(5): 893-903.
- Clark, D. A., 1999, Magnetic petrology of igneous intrusions: implications for exploration and magnetic interpretation, *Exploration Geophysics*, 30(2): 5-26.
- Ganiyu, S. A., Badmus, B. S., Awoyemi, M. O., Akinyemi, O. D., and Olurin, O. T., 2012, Upward continuation and reduction



Exploration of iron and chromite by geological and geophysical studies in Shovin area, Sistan and Baluchestan Province

Azadeh Agah^{*1} and Marzieh Hosseini Nasab¹

1- Assistant Professor; Department of Mining Engineering, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran.

Received: 6 May 2021; Accepted: 13 August 2021

Corresponding author: agah_eng@eng.usb.ac.ir

Keywords

Exploration of iron and chromite
Gravimetry
Magnetometry
Geology
Shovin area

Extended Abstract

Summary

The study area is geologically and potentially capable of mineralization of iron and chromite, and thus, there are many mines and ore deposits of such ore minerals at short distances in the area. This area is located nearby ophiolite and ultramafic assemblages in which considerable mines of iron and basic metals are observed and explored. Considering the economical concentration potential of iron and chromite in this area, some studies on a regional scale have previously been performed. Here, we have investigated Shovin mineralized area for further exploratory studies. Our magnetometric studies reveal that no iron-rich ore deposit is observed in this area and the high magnetic intensities indicate the presence of magnetic minerals in ultramafic rocks. High magnetic intensities are due to the presence of a dyke and the existence of ultramafic rocks. The presence of a buried mass with a density of about 4.4 g/cm³ is proved based on modeling of the gravity data obtained

from the area. Thus, the presumption of the presence of a chromite mass in the study area is highly possible.

Introduction

Geophysical methods are applied approximately in all exploration steps as cheap and reliable ways, which reduce the risk of large investments in many cases (Telford et al., 1990). Similarly, using geophysical methods alongside geological studies increases the efficiency and interpretation of the results more accurately, and hence, can improve the possibility of exploration and feasibility of achieving to promising areas.

Magnetometric and gravimetric methods are some of the oldest geophysical methods used for exploration of iron and chromite deposits. Correct interpretation of field magnetometric and gravimetric data integrated with other exploratory data can reduce the exploration cost and provide valuable information about the location, depth, and dimensions of the concealed iron ore deposits (Carlson and Ripley, 1997; Ganiya et al, 2012; Amobi Adebisi, 2018; Sampaio, 2021).

The gravimetric and magnetometric methods consider primitive exploratory tools for detecting minerals (Sott and Geo, 2014). The majority of chromite ore deposits have been discovered in the recent decade (Yaghoobpur, 2005). Gravimetric and electrical methods are the most important geophysical approaches used to explore chromite lenses in chromite ore deposits that are complex targets to explore due to the influence of tectonic conditions and their irregular shapes (Kogel et al., 2006). Although ophiolite rocks have a pretty high specific gravity, the density of chromite ores makes them recognizable from the host rock (Hornicka et al., 2020). Therefore, gravimetry is a common method to explore chromite resources (Aghajani, 2012; Moazam, et al., 2019; John, 1997). Kamkar Rouhani (2008) and Azad, et al. (1392) could detect the anomalies of chromite deposits in the Faryab mine area by processing the gravimetric data collected from the area.

Methodology and Approaches

To perform exploration operations in the Shovin mineralized area, first, the area was visited, and then, all data, reports, and maps of the area were collected, and by incorporating these two sources (field studies and previous documentation), a relatively adequate knowledge of the geological characteristics in the area was attained. These data were used to plan future exploration operation. In the second step, several operative groups with different aims were equipped to commence the exploratory operation in collaboration with the mapping group. Many activities such as field geological

studies, geophysical surveys, and sampling of the favorable areas were carried out. In the third step, the data collected from various geological and geophysical studies were possessed, and the results were obtained.

To conduct magnetometric surveys in the Shovin area, G856 model proton magnetometer with the sensitivity of 0.01 nT was applied to acquire magnetometric data at the points considered along 11 survey lines with 50 meters intervals passing all the suspicious ultramafic outcrops and faults in the study area. Using a theodolite instrument, the designed points have been marked on the ground. As a result, a survey network with the density of 25*50 or 50*50, depending on the proximity of ultramafic outcrops and the main faults was considered. Overall, total magnetic field measurements in 264 points were made and magnetic map of the area was obtained after performing all of the corrections on the magnetic data.

Similarly, gravimetric surveys were conducted in the area, and totally, gravimetric surveys were made in 209 points with a grid of 20 meters by 20 meters along 11 survey lines in four days. For the gravimetric surveys, the Lacoste-Romberg device with the resolution of 0.01 mGal was used. After performing all corrections and calculations on the raw gravimetric data, the residual anomaly map was obtained.

Finally, after processing and interpretation of the magnetometric and gravimetric data, and integration of the geophysical results with geological information, possible iron and chromite mineralized zones were recognized.

Results and Conclusions

Shovin iron and chromite deposit is observed along with ultramafic and mafic rocks (harzburgite to gabbro) and the iron ore found in this deposit in the form of hematite, although magnetite can be scattered in the ultramafic rocks and or as a filling within the joints and cracks that is economically valuable .

Magnetometric investigations in the area reveal that no accumulation of rich iron masses exists in the subsurface, and high magnetic intensities are the results of the presence of a dyke and ultramafic rocks .

The residual gravity anomaly and modeling applied on the gravity data indicate the presence of a buried mass with a density of about 4.4 gr/cm³ that can indicate high possibility of the existence of a chromatic mass in the study area.
