



تلفیق داده های زمین شناسی، کانی سازی، ژئوشیمی و مغناطیس سنجی برای اکتشاف کانسار آهن در محدوده ترجان

داود رضایی^۱، علی میثاقی^۲، مصطفی رئیسی^۳

^۱ کارشناس ارشد اکتشاف، شرکت دانش بنیان انرژی توانای کیش، davoodrezai72@gmail.com

^۲ استاد یار دانشکده علوم زمین، دانشگاه خوارزمی، ali.misaghi@khu.ac.ir

^۳ کارشناس ارشد اکتشاف، شرکت دانش بنیان انرژی توانای کیش، raissi.geo@gmail.com

چکیده

محدوده اکتشافی ترجان به مساحت ۵۷۸ کیلومتر مربع معادل ۵۸۰ هکتار است که در استان آذربایجان کرمان، شهرستان سقز، واقع گردیده است. واحدهای سنگی محدوده شامل واحدهای زمانی پیرکمبرین، کامبرین، تریاس به همراه سنگهای دگرگونی است که در بخش‌هایی توسط واحدهای کواترنری پوشیده شده‌اند. دو توده نفوذی با ترکیب گرانیتی و دیوریتی نیز در داخل سنگهای دگرگونی منطقه نفوذ کرده‌اند. روند گسل‌های اصلی در محدوده مورد مطالعه شمال شرق - جنوب غربی است. از این منطقه اکتشافی تعداد ۱۹ نمونه ژئوشیمی، ۲۸ نمونه مقطع نازک و صیقلی، ۹ نمونه سنگی و ۶ نمونه کانی سنگین برداشت گردیده است. نمونه های ژئوشیمی به روش ICP-OES برای ۳۴ عنصر و ۹ نمونه سنگی به روش XRF برای عنصر آهن مورد آنالیز قرار گرفته است. همچنین تعداد کل ۸۳۶۵ ایستگاه مغناطیسی برداشت شد. رگه آهن دار در این محدوده روند شمال شمال غربی - جنوب جنوب شرقی دارد و ضخامت این رگه یک متر و طول آن حدوداً ۲۵۰ متر است. با توجه بررسی‌های صحرایی این رگه آهن از نوع آهن مگنتیتی است. براساس مطالعات پتروگرافی این واحدهای آهن دار به شکل رگه سیلیسی به همراه آهن مگنتیتی و بعضاً بلورهای هماتیت است که بلورهای خودشکل دانه پراکنده و افشان در رگه حضور دارند و همچنین مگنتیت به صورت درزه پرکن بخش‌های از رگه را در بر گرفته است. بیشترین مقدار Fe_2O_3 در بازه ۵۰ تا ۶۰ درصد قرار دارد. کمترین مقدار ۳۹ درصد و بیشترین مقدار ۶۱ درصد می‌باشد. بررسی نتایج آنالیز آهن نشان می‌دهد که کمترین مقدار $Fe\ total$ برابر با ۲۶.۹ و بیشترین مقدار برابر با ۴۳.۵۴ درصد می‌باشد. بررسی مقدار Feo این آنالیزها نشان می‌دهد که میانگین مقدار آن در نمونه های برداشت شده برابر با ۶.۶۴ درصد می‌باشد. با توجه به این آنالیزها رگه آهن دار تشکیل شده در محدوده، بیشتر هماتیتی می‌باشد البته با توجه به عدم احداث ترانشه و نمونه برداری از رخنمون های سطحی با توجه به اینکه در سطح زمین تحت تأثیر فرایندهای جوی، مگنتیت می‌تواند به هماتیت تبدیل شود بنابراین عیار Feo در نمونه های سطحی کمتر نشان دهد. بر اساس نتایج ضریب همبستگی پیرسن بعد از پردازش داده‌های ژئوشیمیایی مشاهده می‌گردد که عنصر Cu همبستگی متوسطی را با عناصر As, Ba, Ce و عنصر Pb با عناصر Mn, Zn همبستگی متوسطی را نشان می‌دهد که نشان دهنده روابط پاراژنتیکی بین این عناصر در منطقه است. با توجه به مطالعه گروه‌های آنالیز خوشه‌ای و فاکتوری مشخص می‌شود که عناصر Mn با عناصر منگنز، آرسنیک، کروم، نیکل و سرب هم همبستگی مثبت نشان می‌دهند. همچنین کانی سازی عناصر Pb, Zn, Fe, P با همدیگر اتفاق افتاده است. این نتایج با نتایج ضریب همبستگی پیرسن مطابقت نشان می‌دهد و همدیگر را تأیید می‌کنند. آنومالی بیشتر عناصر در این محدوده بیشتر در شرق محدوده و مشتمل بر واحدهای زمین شناختی شامل دولومیت، گنایس، گرانیت گنایس و شیت می‌باشد. در مرز بین واحد شستی و گرانیت گنایس با دولومیت سلطانیه، زون هورنفلسی تشکیل شده و بیشتر آنومالی‌ها بر روی این زون قرار دارد. این محدوده با ۶ نمونه کانی سنگین به روش تغلیظ، آماده سازی و مطالعه نمونه‌های کانی سنگین مورد تحقیق قرار گرفته یکی از مهم‌ترین کانی‌زایی‌های مشاهده شده در منطقه حضور ذره طلا در محدوده مورد نظر می‌باشد. این ذره طلا دارای شکل لامپی و گرد شده هستند که در نمونه شماره IR-H-11 (ذره ۱) مشاهده شده است. بر اساس نتایج و نقشه های آنومالی گروه‌های کانی سنگین در محدوده اکتشافی، قسمت شرق محدوده پتانسیل اکتشاف کانی‌های قازی را دارا می‌باشد. بر اساس نقشه‌های میدان مغناطیسی تعداد حداقل ۱۸ زون بی‌هنجاری مغناطیسی شناسایی گردید که زون بی‌هنجاری A-1 از نقطه نظر کانی‌سازی آهن، در اولویت اول انجام ادامه اکتشافات است. طول این زون با روند تقریباً جنوب‌غربی - شمال شرقی حدود ۲۵۰ متر بوده که نوید یک زون اقتصادی را در این بی‌هنجاری می‌دهد. همچنین زون بی‌هنجاری A-8 نیز به‌عنوان دومین زون امیدبخش معرفی شد. در بیشتر زون‌ها شدت بی‌هنجاری برای وجود کانی‌زایی مگنتیتی کافی نیست، با این حال وجود دو قطبی مغناطیسی و ساختار خطی کانی نوید وجود کانی‌زایی مگنتیت در عمق را می‌دهد. چندین گسل عمود بر روند بی‌هنجاری دیده می‌شود که باعث قطع شدن بی‌هنجاری و تغییر شکل آن شده است. علی‌رغم شدت پایین و طول موج بسیار کم اکثر بی‌هنجاری‌ها روند کاملاً خطی و مشخصی با آرمیچر ۳۳۵ تا ۲۵۵ درجه در کل محدوده دیده می‌شود.



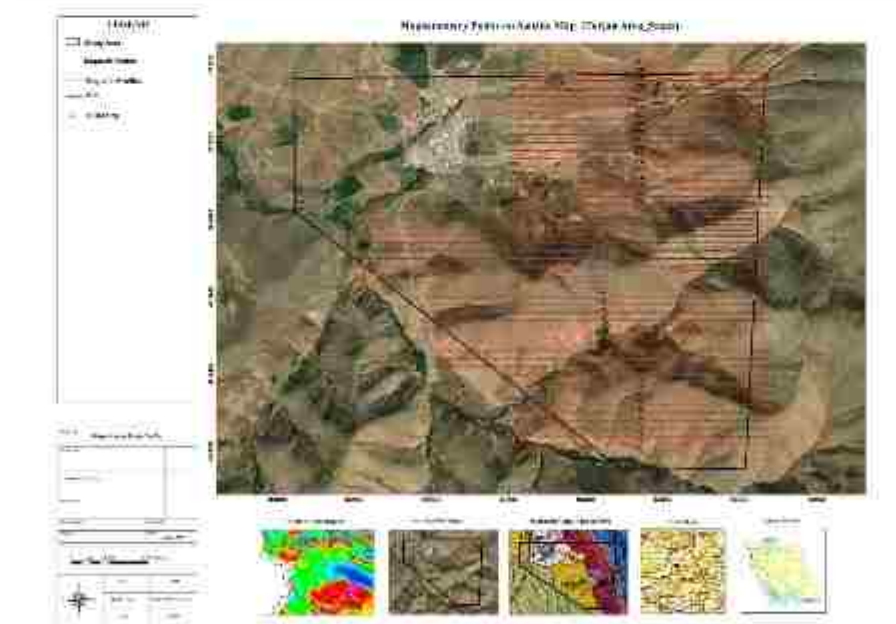
مدل سازی های دوبعدی نشان از ضخامت و عمق کم رگه ها در دو بی هنجاری A-1 و A-8 دارد. بر اساس نتایج روش اویلر بر روی داده ها، به نظر می رسد عمق سقف منشأ آنومالی ها در زون های بی هنجاری متوسط بوده و به طور میانگین در عمق ۴۸ متری تخمین زده می شود.

واژه های کلیدی

مغناطیس سنجی، ژئوشیمی، کانی سازی رگه های آهن، کانی سنگین، مدل سازی دوبعدی

۱- مقدمه

شناسایی و معرفی هرچه بیشتر ظرفیت ها و پتانسیل های معدنی یک نیاز ضروری جهت رشد و ارتقای سطح سرمایه گذاری در بخش معدن کشور است. محدوده اکتشافی نرجان (شکل ۱) به مساحت ۵۱۸ کیلومتر مربع معادل ۵۸۰ هکتار است که در استان آذربایجان کردستان، شهرستان سقز واقع گردیده است. این محدوده از نظر ساختاری در زون البرز سندج- سیرجان قرار گرفته است. کانه زایی آهن در این محدوده به دو شکل کانستگ هماتی و بخش مگنتیتی دیده می شود. این منطقه بسیار تکثیر شده و فعالیت گسل ها موجب جابه جایی های متعدده رگه های کانی سازی شده است. از آن جایی که مگنتیت مهم ترین و فراوان ترین کانی موجود در این بخش از کانی سازی محدوده است و سنگ میزبان آن با میزان پذیرفتاری مغناطیسی کم است، روش مغناطیس سنجی بهترین روش برای تعیین موقعیت، گسترش و عمق کانی سازی محسوب می شود. برای بررسی این محدوده از نظر پتانسیل کانی سازی و ناحیه های امید بخش، داده های اکتشافی ژئوشیمیایی و ژئوفیزیکی تحلیل و تفسیر شدند. در این مقاله از روش تحلیل فاکتوری به عنوان یک روش آماری چند متغیره مهم و شناخته شده در تحلیل داده های ژئوشیمیایی که رابطه بین کانی زایی و فاکتورهای کنترل کننده آن را استخراج می کند و روش تبدیل نسبت لگاریتمی برای مقایسه نتایج سایر تبدیل ها با این روش تبدیل شناخته شده بهره خواهیم برد. و همچنین با استفاده از مدل های دوبعدی و سه بعدی داده های مغناطیسی گسل های پنهان و زون های مستعد کانی سازی شناسایی شد. هدف از این پژوهش، تلفیق داده های زمین شناسی، کانی سازی، ژئوشیمی و مغناطیس سنجی برای اکتشاف بخش های پنهان بالقوه کانی سازی قلیزی، و در نهایت تعیین نقاط حفاری است.



شکل ۱: موقعیت و پروفیل های مغناطیس سنجی محدوده اکتشافی

۲- زمین شناسی

بخش بیشتر استان کردستان در پایانه شمال باختری قلمروی ساختاری - رسوبی سندج - سیرجان قرار دارد. با وجود این بخش کوچکی از جنوب باختری استان متعلق به پهنه زاگرس و نیمه شمال خاوری آن بصورت ساختارهای قرواقبتاده متعلق به حاشیه جنوب باختری ایران مرکزی است به همین رو ساختار زمین شناسی استان تا اندازه ای متنوع می باشد.



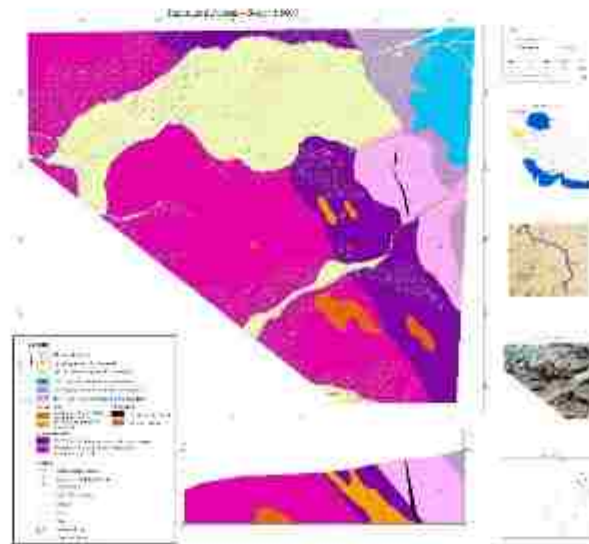
پهنه سنندج - سیرجان بخش بیشتر استان را زیرپوشش دارد. این حوضه (سنندج - سیرجان) از نوع کالکتهای میان ورقها است که به لحاظ داشتن حجمهای درخور توجه سنگهای ماگمایی و پیشرفت و توسعه فرآیندهای دگرگونی پویاترین پهنه‌های زمین ساختی ایران است. واحدهای تکنوولسترانیگرافیک این زون (سنندج - سیرجان) از نوع نهشته‌های پلاتفرمی ایاتشه بر لبه پلاتفرم‌های ناپایدار است. به همین رو توالی‌های پالئوزونیک آن از نوع رسوبهای آشفته ولی ایاتشته شده در میان گودال‌ها است. سنگ‌های مزوزونیک عموماً از نوع رخساره‌های قلیبی همراه با ولکانیک‌اند که پس از تجمع در گودال‌های پویایی مزوزونیک در اثر رویدادهای تکنوتیکی آغاز سنوزونیک بطور پیشرفته دگرگون شده و توده‌های نفوذی متعدد به درون آنها تزریق شده است. همانند سایر نواحی، ساختار بخش سنندج - سیرجان استان کردستان از نوع راندگی‌های هم آغوشی است که عموماً در اثر جابجایی و راندگی ورق‌ها بر روی یکدیگر موجب افزایش ضخامت پوسته به میزان ۱۰ تا ۱۵ کیلومتر شده است. منطقه مورد مطالعه در غرب نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ سقر قرار دارد [۱]. بر اساس تقسیم بندی زون‌های زمین ساختی - رسوبی ایران (آقبنایی، ۱۳۸۳)، این منطقه در زون البرز سنندج- سیرجان قرار گرفته است. این محدوده معدنی بیشتر شامل ربولیت میلیونی، کوارتزیت، گرانیت-گنیس، متاگابرو، آمفیبولیت و تیت است.

از دیدگاه کلی واحدهای سنگی رخنمون یافته در این محدوده از قدیم به جدید شامل واحدهای زمان پرکامبرین، کامبرین، تریاس به همراه سنگ‌های دگرگونی است که در بخش‌هایی توسط واحدهای کواترنری پوشیده شده‌اند.

بخش جنوب شرقی محدوده مورد مطالعه با عمده‌ترین رخنمون‌ها، به واحدهای دگرگونی نفکیک شده تعلق دارد. این واحد شامل تنوعی از سنگ‌های دگرگونی از جمله ربولیت میلیونی، کوارتزیت، گرانیت-گنیس، متاگابرو، آمفیبولیت و تیت می‌باشد. تنوع سنگ‌ها در این واحد، منجر به تنوع رنگی و توپوگرافی در رخنمون‌های صحرایی شده است، همچنین، رخنمون کوچکی از واحد سیلیسی (Si) در این بخش مشاهده می‌شود. رخنمون‌هایی از سنگ‌های دگرگونی کوارتز-قلندسپاتیک و گرانیت-گنیس با رنگ روشن در بخش میانی محدوده یا روند شمال غربی - جنوب شرقی مشاهده می‌شود. شدت دگرگونی در این واحد به سمت شرق کاهش می‌یابد. رخنمون کوچکی از واحد سیلیسی (Si) نیز در این واحد دیده می‌شود. در نیمه شرقی محدوده، تناوب تیت، اسلیت، فیلیت، متاتوف و ماسه سنگ واحد (PKSch) رخنمون دارد و بخش‌های نرم قرسا را تشکیل می‌دهد. رخنمون اصلی رگه کانی‌زایی (Fe) در این واحد قرار دارد. دولومیت چرت‌دار ضخیم لایه قهوه‌ای زردگون واحد (Eg) بر روی این قسمت قرار گرفته و در نیمه شرقی نقشه و ناپوستگی هم‌شیب بر روی واحد PKSch و ناپوستگی نامشعب زیر واحد (Trde) قرار گرفته است. دولومیت سفید رنگ لایه بندی شده واحد (TRde) در شمال شرقی محدوده رخنمون دارد و به صورت دگرشیبی زاویه دار واحد Es را پوشانده است.

رسوبات آهکی چشمه‌های معدنی واحد (Qtr) با رنگ کرمی در دو رخنمون مجزا در نیمه شمالی محدوده قرار دارند. آب‌رفت رودخانه‌های جوان واحد (Qal) در بستر رودخانه اصلی در این محدوده و در غرب روستای ترحان قرار دارد.

رخنمون واحدهای نفوذی در محدوده مورد مطالعه محدود بوده و در مرکز و جنوب نقشه تمرکز دارد. واحدهای گرانیتی (gr) در مرکز نقشه و در میان واحدهای گرانیت گنیس (Mtgr-gn) و در رخنمون صحرایی سفید رنگ نا خاکستری روشن هستن. واحدهای دیوریتی (d) در جنوب نقشه و در میان واحد گرانیت-گنیس (Mtgr-gn) و واحد Mt رخنمون دارند و در رخنمون صحرایی خاکستری روشن نا خاکستری هستند.

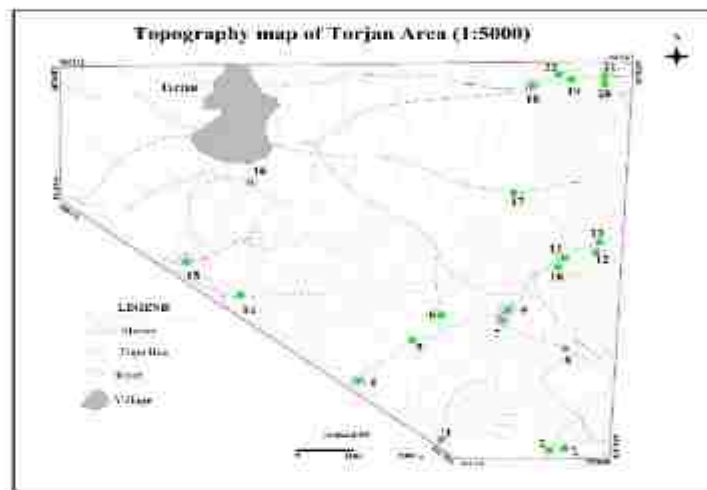


شکل ۲: نقشه زمین شناسی - معدنی محدوده اکتشافی در مقیاس ۱:۵۰۰۰



۳- روش مطالعه

برای دست یابی به اهداف مورد نظر این پژوهش، پس از بررسی های صحرایی و نمونه برداری، تعداد ۱۹ نمونه ژئوشیمی، ۲۸ نمونه مقطع نازک و صیقلی، ۹ نمونه سنگی و ۶ نمونه کانی سنگین برداشت گردیده است. نمونه های ژئوشیمی به روش ICP-OES برای ۳۴ عنصر و ۹ نمونه سنگی به روش XRF برای عنصر آهن مورد آنالیز قرار گرفته است (شکل ۳). با توجه به نقشه جای ژئوفیزیک هوایی و نتایج ژئوشیمی یک شبکه ۵۰ × ۲۰ متر در این محدوده طراحی گردیده است (شکل ۱) که در دو زون اصلی بی هنجاری با شبکه ۲۰ × ۱۰ متر برداشت صورت گرفته است. در این محدوده آزمون خطوط برداشت ۹۰ درجه در نظر گرفته شد. تعداد کل ایستگاهها در این محدوده ۸۳۶۵ نقطه برآورد گردیده است. داده های حاصل از عملیات صحرایی ژئوفیزیکی به روش مغناطیس سنجی با استفاده از نرم افزار Geosoft مورد پردازش قرار گرفته و به صورت نقشه ترسیم شده است. پس از حذف IGRF (شدت میدان مغناطیسی منطقه ای) با توجه به هدف پژوهش، قیطرهای لازم بر روی داده ها اعمال شد. سرانجام با تلفیق داده های زمین شناسی، کانی سازی و مغناطیس سنجی، تفسیرها و تحلیل های لازم انجام شد.



شکل ۳: موقعیت نمونه های ژئوشیمی در مقیاس ۱:۵۰۰۰

۴- کانی سازی و آنتراسیون

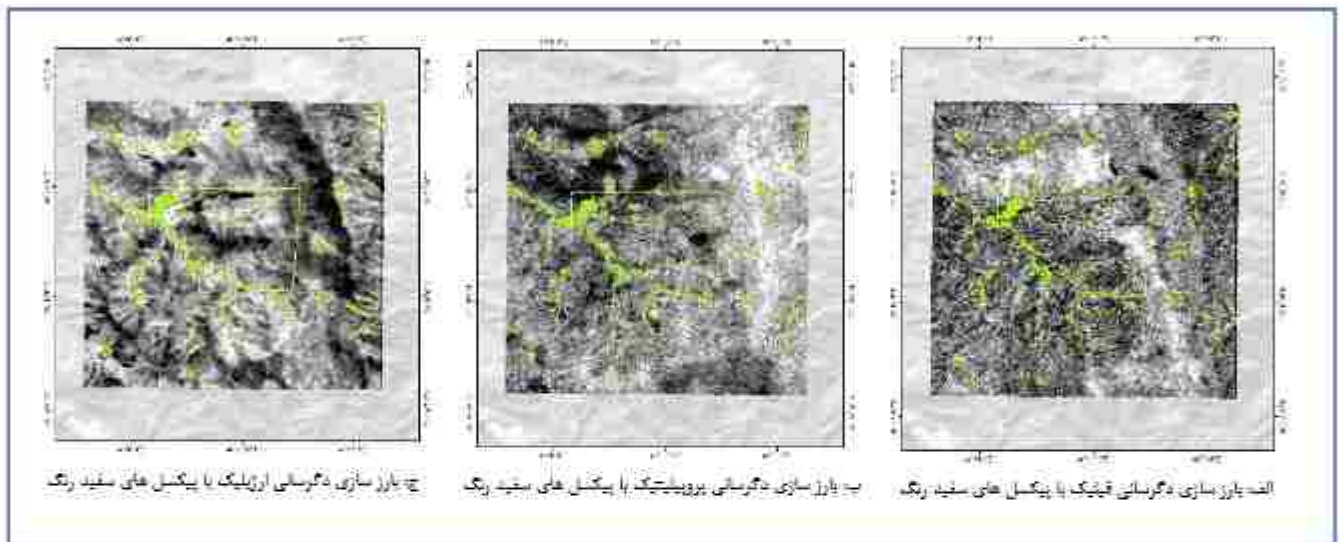
۴-۱- کانی سازی

کانی زایی آهن در شمال غرب ایران به ویژه در محدوده سیاهی شهرهای بوکان، سنقر و شاهین دژ از نوع آهن مگنتیتی مرتبط با زون های اسکارنی است که ارتباط تنگاتنگی با تزریق گرانیت های آلکان در پوسته این منطقه در طی اواخر مزوزوئیک تا اوایل ستوزوئیک دارد. در محدوده مورد نظر هم با کانی سازی آهن به شکل رگه ای روبرو هستیم که در امتداد لایه بندی نفوذ کرده است. رگه آهن در این محدوده روند شمال شمال غربی - جنوب جنوب شرقی دارد و ضخامت این رگه یک متر و طول آن حدوداً ۴۰۰ متر است. با توجه به بررسی های صحرایی این رگه آهن از نوع آهن مگنتیتی است. بر اساس مطالعات پتروگرافی این واحدهای آهن دار به شکل رگه سیلیسی به همراه آهن مگنتیتی و بعضاً بلورهای هماتیت است که بلورهای خود شکل دانه پراکنده و افشان در رگه حضور دارند و همچنین مگنتیت به صورت درزه پرکن بخش های از رگه را در بر گرفته است. نمونه شماره Tr-P-05 رگه سیلیسی کانه دار با بافت گرانوبلاستیک و از کانی های اصلی کوارتز، مگنتیت و بعضاً هماتیت تشکیل شده است. کانی های کوارتز بی شکل بوده که در حفرات متبلور شده است و کانی های مگنتیت نیز در فضایی این کانی ها به صورت افشان و توده ای درزه پرکن تشکیل شده است. کانی های ایک شکل دار تا نیمه شکل دار بوده و قضا پرکن است و فضایی میان کوارتزها را پر کرده است و حداکثر اندازه آن ۱ میلی متر در بخش دانه ای است.



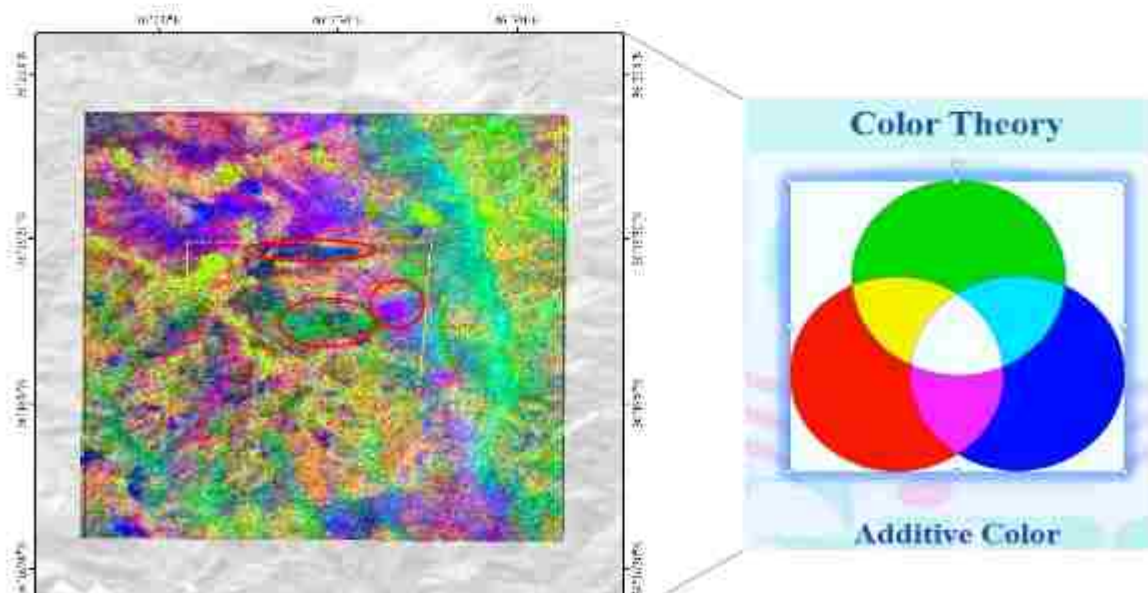
شکل ۴: همرشدی کانه مگنتیت و هماتیت به صورت شکل دار در کوارتز و همچنین به صورت توده در حفرات

در تصاویر شکل ۶ با نسبت‌های باندی ۴۶۸ و ۶۳۱ که هر دو با استفاده از تصاویر استر تفکیک لیتولوژی آنها انجام شده است ۴ الی ۵ واحد سنگی در محدوده مورد نظر مشخص گردیده است از این روش برای تهیه نقشه‌های زمین شناسی و کمک گرفتن از آنها هم می‌توان بهره گرفت. برای شناسایی و بارز سازی دگرسانی‌ها از روش نسبت باندی و (PCA (Principal Component Analysis یا همان آنالیز مؤلفه های اصلی با دو روش استاندارد و انتخابی استفاده شده است در این روش ها با توجه به اطلاعاتی که از باندها بدست می‌آید هر کدام از این باندها می‌توانند معرف دگرسانی هدف باشند در روش نسبت باندی، از نسبت باند ۴۵ برای بارز سازی دگرسانی آرژلیک و از نسبت باند ۹۸ برای بارز سازی دگرسانی پروپلیتیک و از نسبت باند B5+B7 برای بارز سازی دگرسانی فلیک استفاده گردید است. در تصاویر زیر از پیکسل‌های سفید برای دگرسانی هدف استفاده شده است.



شکل ۷: الف: بارز سازی دگرسانی فلیک با پیکسل های سفید رنگ ب: بارز سازی دگرسانی پروپلیتیک با پیکسل های سفید رنگ ج: بارز سازی دگرسانی آرژلیک با پیکسل های سفید رنگ

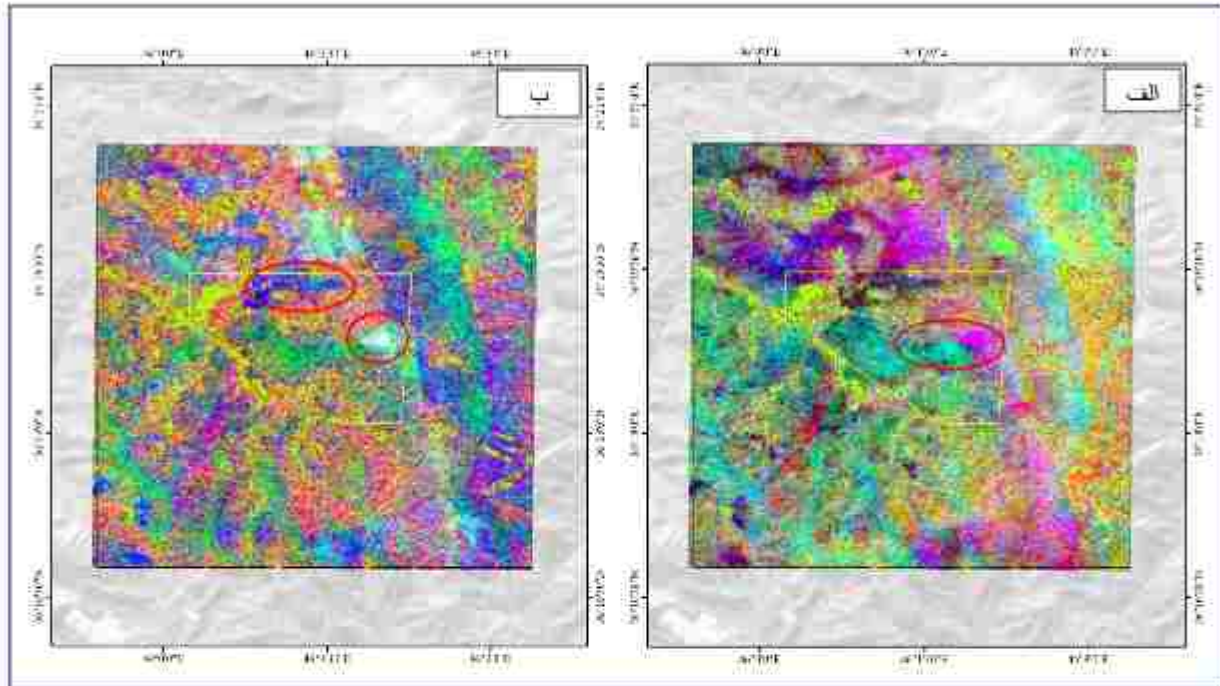
در تصویر زیر با استفاده از باندهای ترکیبی که برای تصاویر Gray Scale انجام گردیده است، تصویر رنگی آن یا همان RGB Colour آن نشان داده شده است. در این تصویر رنگ سبز، قرمز و آبی به ترتیب بیانگر دگرسانی‌های پروپلیتیک، آرژلیک و فلیک می‌باشد.



شکل ۸: بارز سازی دگرسانی‌ها با نمایش RGB Colour

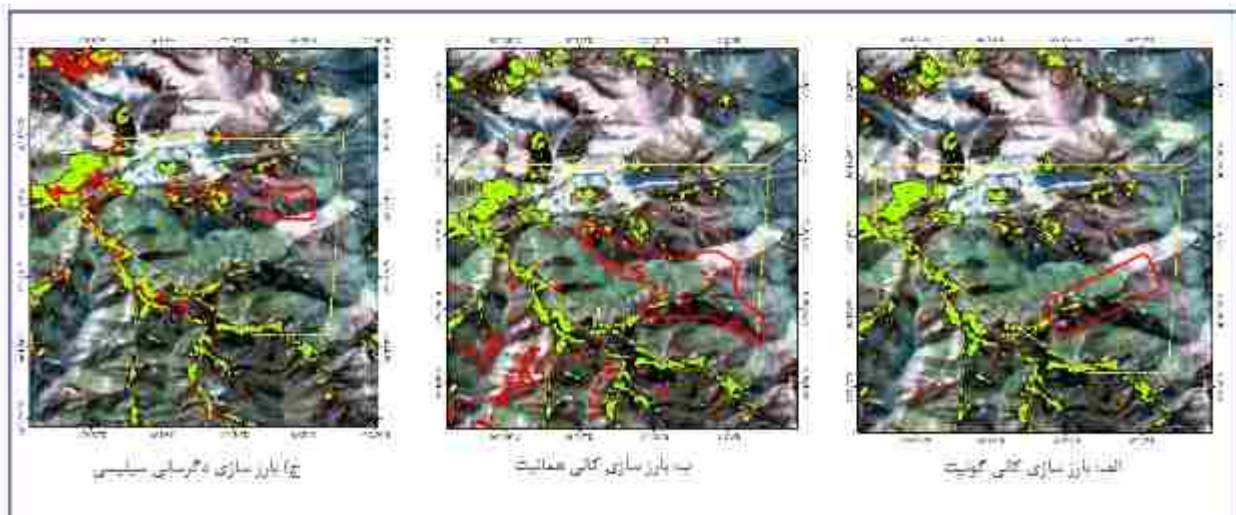


در شکل ۹ با استفاده از روش PCA یا آنالیز مؤلفه‌های اصلی به روش انتخابی و استاندارد، بارسازی‌ها انجام شده است.



شکل ۹: بارسازی آلتراسیون‌ها توسط آنالیز مؤلفه‌های اصلی، الف) به روش انتخابی ب) استاندارد

روش نقشه بردار زاویه طیفی یا SAM براساس تصاویر سنجنده استر که با شماره 030801B-1-289 در تاریخ 2001.09.12 تصویر برداری شد استفاده شده است [3]. در منطقه مورد مطالعه طیف‌های موجود در پیکسل‌های تصویر استر با کتابخانه طیفی دیجیتالی سازمان زمین شناسی آمریکا USGS موجود در نرم افزار ENVI مورد مقایسه قرار گرفت است. این روش برای شناسایی کانی‌های هماتیت و گونیت وزون سیلیسی استفاده شده است. شدت و گسترش این کانی‌ها منجر به شناسایی و تفکیک دگرسانی‌های مختلف شده است. کانی‌های همدف با پیکسل‌های قرمز رنگ مشخص گردیده اند.



شکل ۱۰: بارسازی‌ها با پیکسل‌های قرمز رنگ



۵- ژئوشیمی

یکی از روش‌های کشف ذخایر معدنی، اکتشافات ژئوشیمیایی است که در بهینه سازی هزینه‌های اکتشافی و راهنمایی جهت شناسایی مناطق پتانسیل دار نقش موثری دارد. انجام مطالعات لیتوژئوشیمیایی به عنوان یک ابزار اکتشافی با بررسی توزیع و فراوانی عناصر اصلی، قرعی و کمیاب موجود در توده‌های سنگی و معرفی آنومالی‌ها، مطالعه ترکیب و توزیع حاله‌های ژئوشیمیایی اولیه و توسعه مدل منطقه بندی، در اکتشاف کانی‌سازی‌های پنهان سودمند می‌باشد.

۵-۱- پردازش داده‌های ژئوشیمیایی

ابتدا مقادیر مستورد برخی عناصر به مقادیر عددی تبدیل گردید سپس داده‌ها به روش سه پارامتری نرمال گردیدند تا بتوان مراحل بعدی پردازش را انجام داد [4]. پردازش دو متغیره (بررسی همبستگی اسپرمن) و چند متغیره (آنالیز خوشه‌ای) و آنالیز فاکتوری بر روی داده‌های نرمال شده انجام شد و بر اساس نتایج آنالیز خوشه‌ای و فاکتوری سه گروه اصلی مشخص شد که بیانگر ارتباط پارائیزی بین متغیرها است. گروه اول شامل سه زیر گروه است:

- زیرگروه اول شامل عناصر Cr, Ni, As, Ce, Mn, Cu

- زیرگروه دوم شامل عناصر Ba, Be

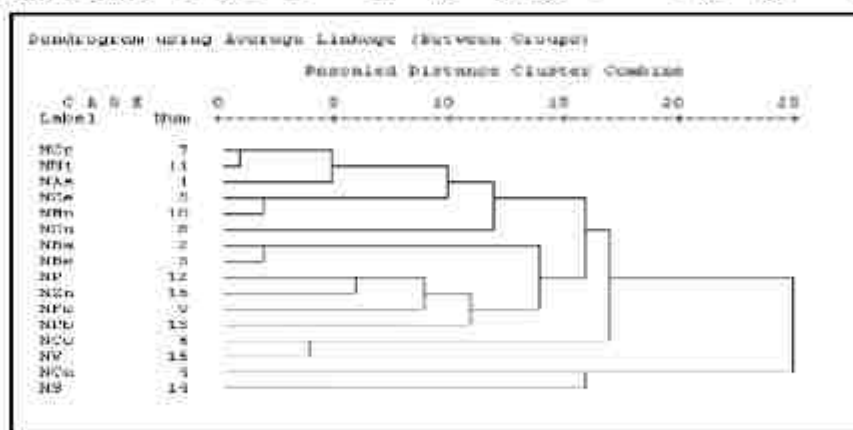
- زیرگروه سوم شامل عناصر P, Zn, Fe, Pb

گروه دوم شامل عناصر Co, V

گروه سوم شامل عناصر Ca, S

بر اساس نتایج ضریب همبستگی پیرسن مشاهده می‌گردد که عنصر Cu همبستگی متوسطی را با عناصر As, Ba, Ce و عنصر Pb با عناصر Mn, Zn همبستگی متوسطی را نشان می‌دهد که نشان دهنده روابط پارائیزی بین این عناصر در منطقه است. همچنین کانی سازی عناصر Pb, Zn, Fe, P با همدیگر اتفاق افتاده است. این نتایج با نتایج ضریب همبستگی پیرسن مطابقت نشان می‌دهد و همدیگر را تایید می‌کنند.

آنومالی بیشتر عناصر در این محدوده بیشتر در شرق محدوده و مشتمل بر واحدهای زمین‌شناختی شامل دولومیت، گنایس، گرانیت گنایس و شیت می‌باشد. در مرز بین واحد شیتی و گرانیت گنایس با دولومیت سلطانیه، زون هورنفلسی تشکیل شده و بیشتر آنومالی‌ها بر روی این زون قرار دارد.



شکل ۱۱: آنالیز خوشه‌ای (دندروگرام) بر روی داده‌های نرمال محدوده

۵-۲- ترسیم نقشه‌های آنومالی ژئوشیمیایی:

از بین ۳۴ عنصری که در منطقه مورد پردازش قرار گرفتند برای ۹ عنصر که دارای آنومالی بودند، نقشه ترسیم گردیده است. نقشه آنومالی عناصر بر اساس داده نرمال ترسیم شده است.

آنومالی عنصر As

آنومالی این عنصر بیشتر در شرق محدوده در محل نمونه های ۱۱، ۱۷ و ۲۰ مشاهده می‌گردد. واحدهای رخنمون یافته در این منطقه شامل واحد شیتی، دولومیت، گنایس و دیوریت می‌باشد.



Ba آنومالی عنصر

آنومالی این عنصر بیشتر در جنوب و شرق روستای تورجان در محل نمونه های ۱۵، ۱۱، ۱۰ و ۷ مشاهده می گردد. واحدهای رخنمون یافته در این منطقه شامل گرانیت گنایس، متاگابرو، تسیست و دولومیت می باشد.

Co آنومالی عنصر

آنومالی این عنصر بیشتر در جنوب و شرق روستای تورجان و اطراف نمونه ۱۴ و ۲۰ مشاهده می گردد. واحدهای رخنمون یافته در این منطقه شامل گرانیت گنایس، متاگابرو، تسیست و دولومیت می باشد.

Cu آنومالی عنصر

آنومالی این عنصر بیشتر در شرق محدوده و اطراف نمونه ۱۹، ۱۶ و ۲۰ مشاهده می گردد. واحدهای رخنمون یافته در این منطقه شامل شامل واحد دولومیت، گنایس و گرانیت گنایس می باشد.

Mn آنومالی عنصر

آنومالی این عنصر بیشتر در شمال شرق محدوده و اطراف نمونه ۲۰ مشاهده می گردد. واحدهای رخنمون یافته در این منطقه شامل شامل واحد دولومیتی می باشد.

Ni آنومالی عنصر

آنومالی این عنصر بیشتر در شرق محدوده و اطراف نمونه ۱۲ مشاهده می گردد. واحدهای رخنمون یافته در این منطقه شامل شامل واحد تسیست و دولومیت می باشد.

P آنومالی عنصر

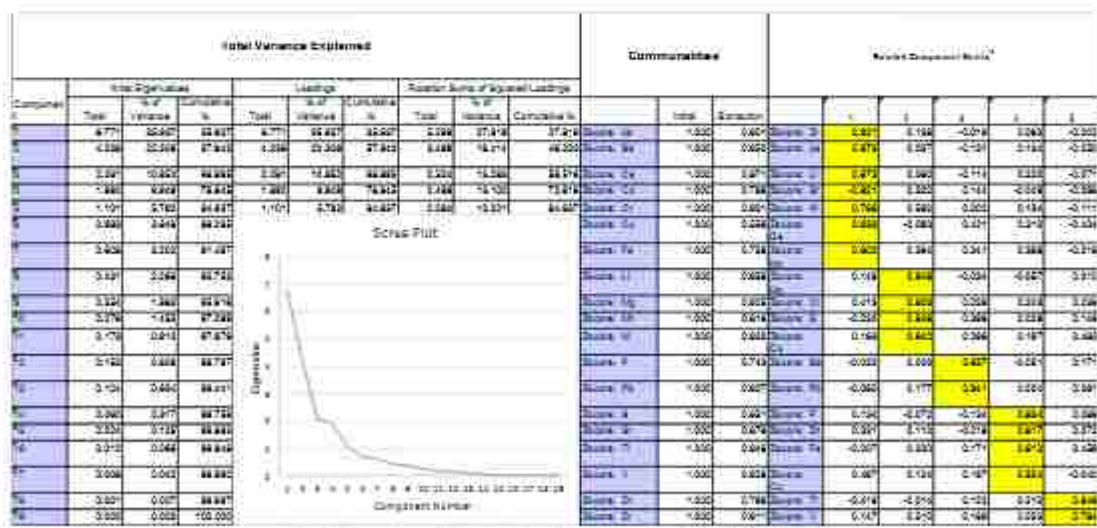
آنومالی این عنصر بیشتر در شرق محدوده و اطراف نمونه ۱۲ مشاهده می گردد. واحدهای رخنمون یافته در این منطقه شامل شامل واحد تسیست و دولومیت می باشد.

Pb آنومالی عنصر

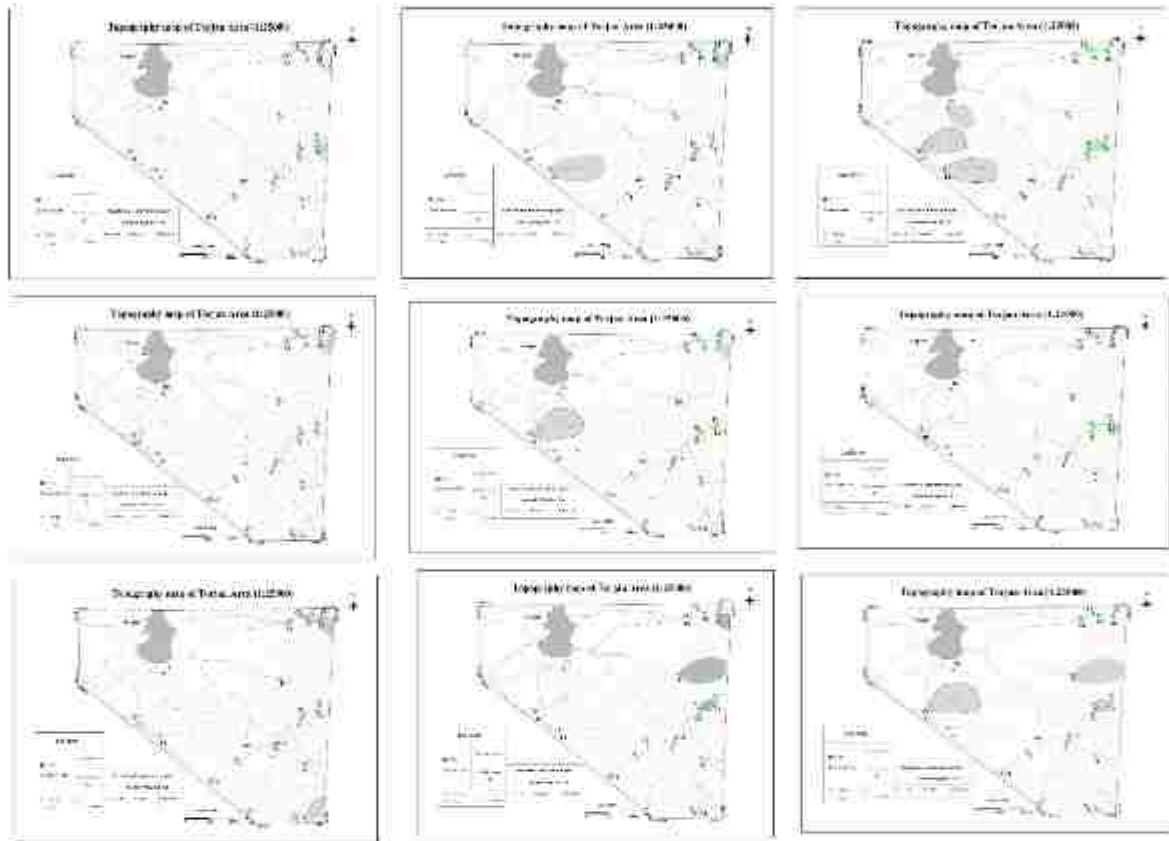
آنومالی این عنصر بیشتر در شمال روستای قمیشله و شمال روستای قره بغره در محل نمونه های ۶، ۹، ۲۷، ۲۴، ۱۲ مشاهده می گردد. واحدهای رخنمون یافته در این منطقه شامل شامل واحد دولومیت، تسیست، گنایس و آمفیبولیت می باشد.

S آنومالی عنصر

آنومالی این عنصر بیشتر در جنوب و شرق روستای تورجان و در محل نمونه های ۱۱، ۱۴، ۱۵ و ۱۶ مشاهده می گردد. واحدهای رخنمون یافته در این منطقه شامل شامل واحد دولومیت، تسیست، گنایس و آمفیبولیت می باشد.



شکل ۱۲: آنالیز فاکتوری بر روی داده های استاندارد محدوده تورجان



شکل ۱۳: آنومالی عناصر، Ba-Co-Cu-P-Mn-Ni-S-Pb

۳-۵- مطالعات کانی‌های سنگین

مناطق آنومالی که با پردازش داده‌های نمونه‌های ژئوشیمیایی آبراه‌های مشخص می‌شوند می‌توانند ناشی از پدیده‌های کانی‌سازی احتمالی و همچنین نتیجه مؤلفه‌های سزنتیک باشند. لذا ضرورت استفاده از سایر روش‌های نمونه‌برداری و نیز بررسی‌های صحرایی جهت شناخت آنومالی‌ها کاملاً روشن می‌باشد. در این ارتباط معمولاً دو کار صورت می‌گیرد:

۱- مطالعات کانی‌سنگین

۲- بررسی مناطق کانی‌سازی شده

مطالعات کانی‌سنگین مشخص می‌کند که تمرکز عناصر مورد بررسی درجه قازی صورت گرفته است. بدیهی است پیدایش یک عنصر در قاز‌های مختلف ارزش اکتشافی متفاوتی دارد و برای پی بردن به ارزش‌های اکتشافی متفاوت پیدایش یک عنصر، معمولاً نیاز به شناخت فاز پیدایش آن است. با توجه به نتایجی که از آنالیز کانی‌های سنگین بدست می‌آید، می‌توان هاله‌های ثانویه را به دو نوع تقسیم نمود:

الف - هاله‌های ثانویه مرتبط با کانی‌سازی

بعضی از عناصر کانه‌ساز کانی‌های مستقلی را به وجود می‌آورند. برای مثال **Pb** می‌تواند سروریت و **Zn** می‌تواند اسمیت زولیت را به وجود آورد و تمرکز آنها در یک منطقه می‌تواند نشانه کانی‌سازی در بالا دست آن‌ها باشد.

ب- هاله‌های حاصل از پدیده‌های سنگ‌زایی

بعضی از عناصر کانه‌ساز می‌توانند در شبکه کانی‌های دیگر نیز جای بگیرند. برای مثال **Pb** می‌تواند در شبکه فلنسلات، **Ni** می‌تواند در شبکه الیوپن و **Zn** می‌تواند در شبکه بیوتیت و آمفیبول قرار گیرد. بدین ترتیب در حالت عادی سنگ‌زایی، بیشتر با ورود این عناصر در ترکیب (یا محلول جامد) کانی‌های سازنده سنگ روبرو هستیم.



۵-۳-۱- پردازش داده‌های کانی سنگین

تجزیه و تحلیل داده‌های کانی سنگین را می‌توان بوسیله هیستوگرام‌ها، نمودارهای تجمعی، آنالیز خوشه‌ای، ضرایب همبستگی و نمودارهای پراکنش انجام داد. با توجه به اینکه کانی‌های سنگین ممکن است نشان دهنده لیتولوژی و نوع کانی‌سازی یا الیست خود باشند، بنابراین وجود اکثر آن‌ها در نمونه‌ها می‌تواند مشخصات ناحیه منشأ را نشان دهد و برای مکان‌یابی نهشته‌های دارای پتانسیل اقتصادی به کار رود.

روش‌های متفاوتی جهت پردازش و نشان دادن نمونه‌های آنومال وجود دارد که در این پژوهش کانی‌هایی که پاراژنز هستند در یک گروه قرار داده شده و مورد پردازش قرار گرفته اند. این گروه‌ها عبارتند از:

۱- گروه آهن و نیتان:

مگنتیت، هماتیت، ایلمنیت، لیمونیت، الیژیت

۲- گروه پیریت:

پیریت اکسید

۳- گروه کانی‌های زیرکن و باریت

باریت و زیرکن

۴- گروه کانی‌های طلا

طلا

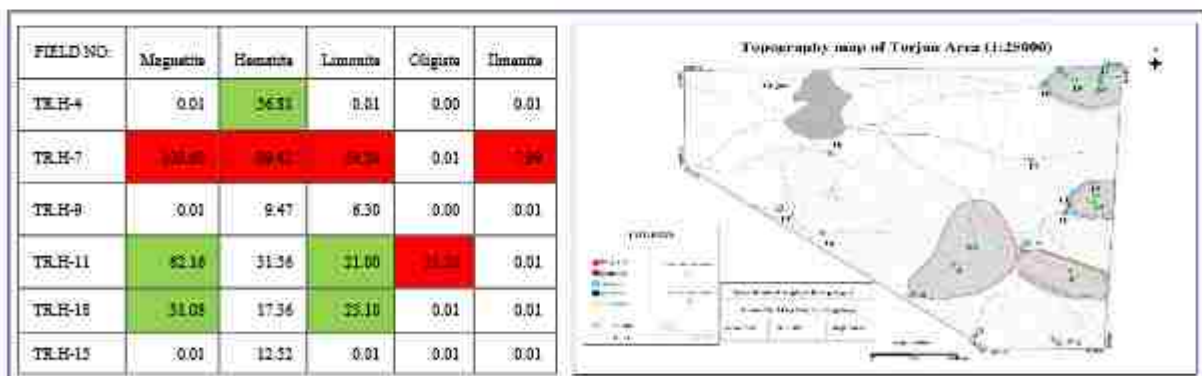
از بین این گروه‌ها، گروه‌های اول، دوم به صورت ppm و بقیه گروه‌ها بر اساس تعداد ذره در نقشه آنومالی آورده شده است.

۵-۳-۲- جدایش مقدار زمینه از آنومالی و شرح آنومالی‌های متغیرهای کانی سنگین

در مورد جدایش آنومالی‌های گروه اول، دوم و سوم از فرمول $X + nS$ استفاده شده است. مقادیر بیشتر از $X + 3S$ به عنوان آنومالی درجه یک (رنگ قرمز) و مقادیر بین $X + 2S$ و $X + 3S$ به عنوان آنومالی درجه دو (رنگ سبز) لحاظ شده‌اند (میانگین داده‌ها $X =$ الحراف معیار S و ضریب n). شرح آنومالی متغیرهای کانی سنگین به همراه نتایج جدایش آنومالی‌ها از مقدار زمینه در منطقه در زیر آورده شده است.

۱- گروه آهن (مگنتیت، هماتیت، لیمونیت، ایلمنیت و الیژیت):

در جدول نمونه‌های آنومال این کانی‌ها مشخص شده است. بر اساس این نتایج نقشه شماره ۶ ترسیم گردیده است. بررسی این نقشه نشان می‌دهد که آنومالی‌های آهن بیشتر در محل نمونه ۴، ۷، ۱۱ و ۱۸ واقع گردیده است. واحدهای رخنمون یافته شامل آفئیبولیت، گنایس، مرمر، دولومیت، دیوریت و سیست می‌باشد.

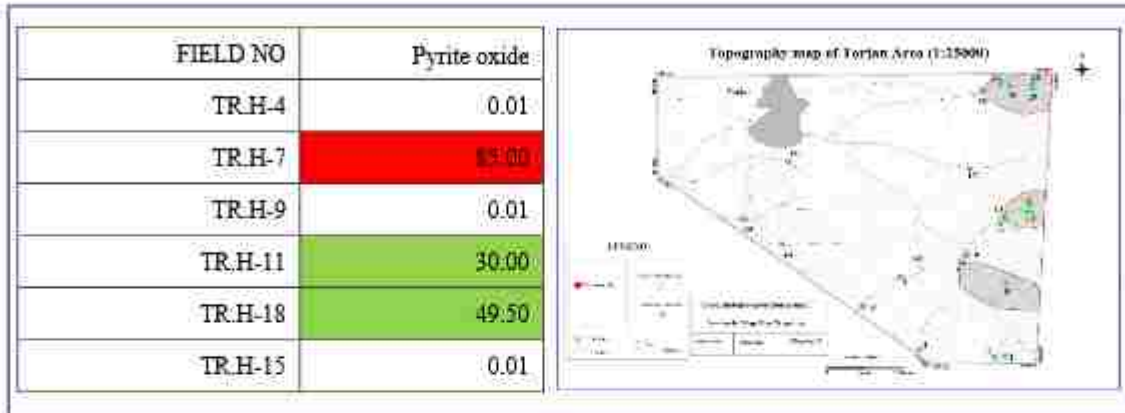


شکل ۱۴: نقشه آنومالی و نتایج پردازش نمونه‌های کانی سنگین گروه آهن و نیتان (ppm)

۲- گروه پیریت (پیریت اکسید):



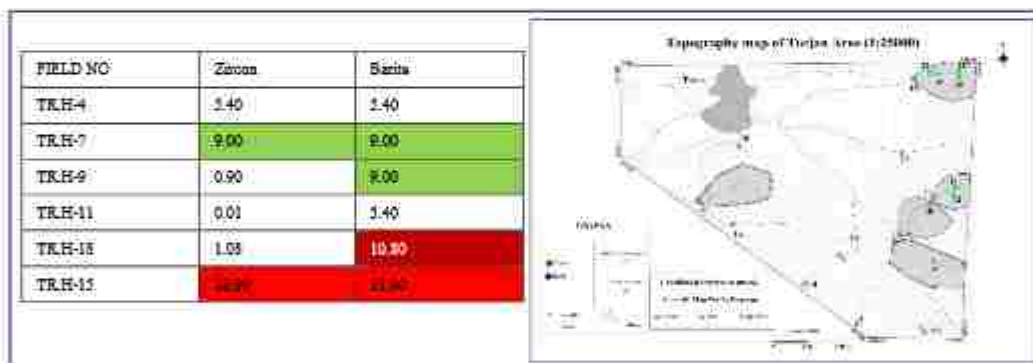
در جدول نمونه‌های آنومال این کانی‌ها مشخص شده است بر اساس این نتایج نقشه شماره ۴ ترسیم گردیده است. بررسی این نقشه نشان می‌دهد که آنومالی‌های گروه پیریت بیشتر در شرق محدوده و در محل نمونه ۷، ۱۱ و ۱۸ واقع گردیده است. واحدهای زخمون یافته شامل آمفیبولیت، گنایس، سرمر، دولومیت و شیست می‌باشد.



شکل ۱۵: نتایج پردازش نمونه‌های کانی سنگین گروه پیریت (PPM)

۳- گروه کانی‌های باریت و زیرکن:

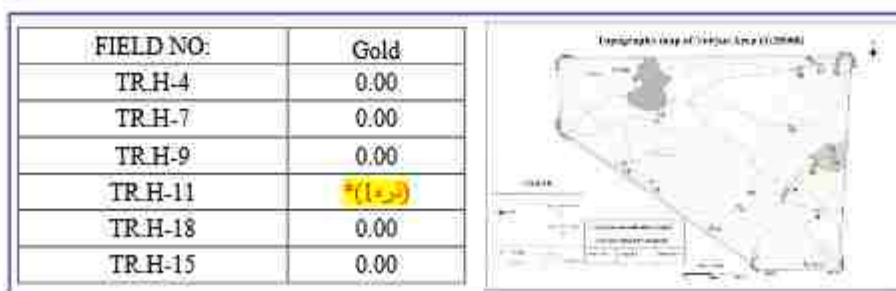
در جدول نمونه‌های آنومال این کانی‌ها مشخص شده است. بررسی این نقشه نشان می‌دهد که نمونه‌های آنومال کانی‌های این گروه بیشتر در شرق محدوده و در محل نمونه ۷، ۱۵ و ۱۸ جایی که واحدهای گنایس، مگرایت گنایس، دیوریت، دولومیت و آمفیبولیت اتفاق افتاده است.



شکل ۱۶: نتایج گروه کانی‌های باریت و زیرکن

۴- گروه کانی‌های طلا

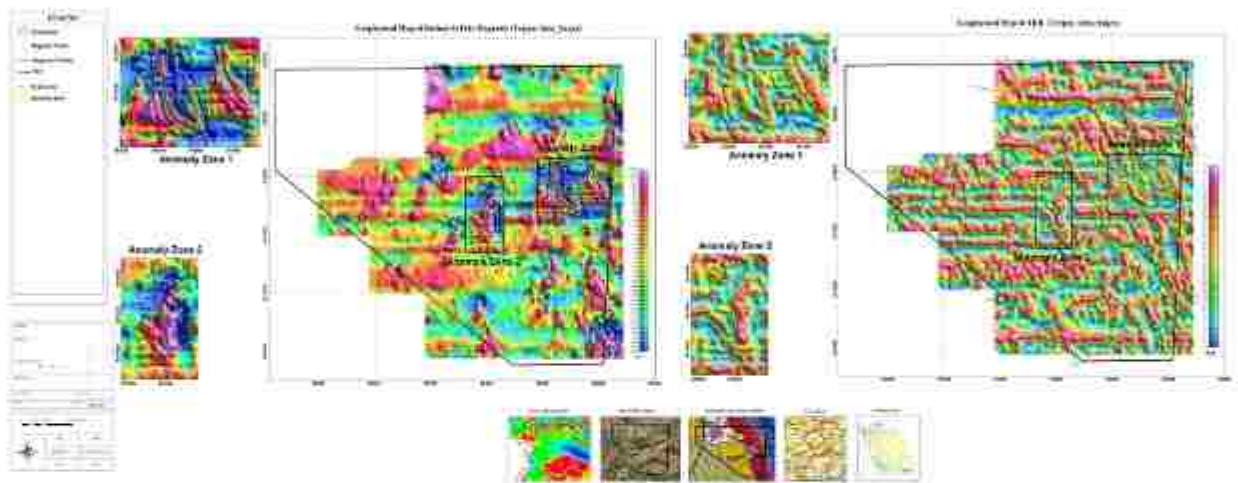
در جدول ذرات این کانی مشخص شده است. بررسی این نقشه نشان می‌دهد که ذرات کانی‌های این گروه بیشتر در محل نمونه ۱۱ (تعداد یک ذره) جایی که واحدهای دولومیت، شیست و گنایس در شرق محدوده اتفاق افتاده است.



شکل ۱۷: ذرات کانی‌های گروه طلا

۶- مطالعات ژئوفیزیکی به روش مغناطیس سنجی

بیشترین و کمترین مقادیر شدت میدان باقیمانده در محدوده مورد مطالعه به ترتیب ۱۲۹۱ و ۲۳۱- نانوتسلا می باشد (تغییرات کل به حدود ۱۹۵۷ نانوتسلا می رسد). پس از برداشت مجدد مگنتومتری در محل بی‌هنجاری این تغییرات به ۲۰۲۲ نانوتسلا رسیده است. در نقشه برگردان به قطب ۱۸ ناحیه بی‌هنجاری به ترتیب از ۱ تا ۱۸ تفکیک شد و در ناحیه بی‌هنجاری اصلی (زون شماره ۱ و ۲) مورد برداشت مجدد با رزولوشن بالاتر قرار گرفت. به دلیل لیج شدن کانی‌زایی مگنتیت عمدتاً به همانیت تبدیل شده و به تبع آن شدت بی‌هنجاری اکت زیاد از خود نشان می‌دهد. با این حال روند بی‌هنجاری در این نقشه کاملاً مشهود است. بی‌هنجاری‌های مشخص شده علاوه بر شدت پایین میدان مغناطیسی از طول موج کمی نیز برخوردار هستند که نشان‌دهنده ضخامت کم کانی‌زایی می باشد. روند غالب کانی‌زایی جنوب‌شرقی-شمال‌غربی است. آزمایشات روند بی‌هنجاری از ۲۲۵ تا ۲۳۵ درجه متغیر است. بی‌هنجاری A1 و A8 از نقطه نظر وجود رخنمون توسط دو زون تفکیک شده و با دقت بالاتری مورد مطالعه قرار گرفتند.



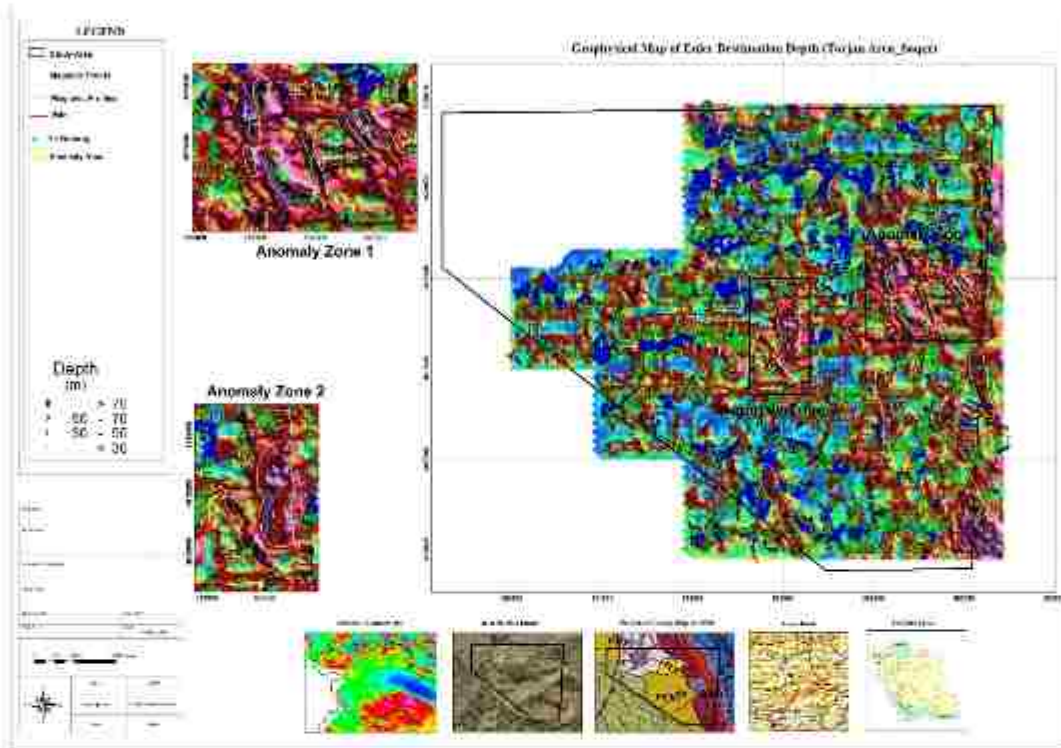
شکل ۱۸: نقشه مغناطیسی داده‌های برگردان شده به قطب و تیلت در محدوده اکتشافی

تغییرات در نقشه برگردان به قطب حدود ۲۰۰۰ نانوتسلا می باشد. این تغییرات در نقشه ادامه قراسوی ۱۰ متر به ۴۵۰ نانوتسلا در نقشه ادامه قراسوی ۳۰ متر به ۲۴۰ نانوتسلا رسیده است. این روند تا نقشه ادامه قراسوی ۵۰ متر ادامه داشته (۱۶۵ نانوتسلا) و در نقشه ادامه قراسوی ۱۰۰ متر و ۲۰۰ متر نیز، شکل بی‌هنجاری‌ها وجود دارند (۸۰ نانوتسلا). از نقشه قراسوی ۱۰۰ متر به بعد، عملاً تمام بی‌هنجاری‌های تفکیک شده به جز بی‌هنجاری A13 از شدت بسیار کمی برخوردارند که این امر نشان‌دهنده عمق کم ناخنجاری مورد نظر می باشد. نقشه مشتق تیلت، ابزار قدرتمندی در شناسایی خطواره‌های مغناطیسی است [5]. مقادیر صفر در نقشه مشتق زاویه تیلت تا حد زیادی منطبق بر مرز منبع آنومالی‌ها و یا موقعیت گسل‌های منطقه مورد مطالعه است. همان‌طور که در شکل ۱۰ مشاهده می‌شود، خطوط خط چین گسل‌های شناسایی شده از طریق این قیاس را نشان می‌دهد. تعداد ۹ گسل پنهان شناسایی و به نقشه درآمده است. به‌طور کلی دو ساختار شمال شرقی-جنوب غربی و شمال غربی-جنوب شرقی به‌عنوان ساختار کنترلی به وضوح در تمام نقشه‌های گرادیان دیده می‌شود. از آنجا که دید صحیحی از اعماق زمین وجود ندارد، برای رسیدن به اندیس ساختاری مناسب، باید اعداد مختلف اندیس ساختاری مورد آزمایش قرار گیرند. در این مطالعه از مقدار ۰/۱۵ تا ۳ با افزودن مقادیر ۰/۱۲ تخمین این اندیس استفاده شد. با توجه به مطالب مذکور، بهترین شاخص ساختاری که برای شکل آنومالی‌های موجود در منطقه برآورد شد که به‌طور میانگین شاخص ساختاری ۱/۵ به‌عنوان شاخص ساختاری مناسب انتخاب شد.

جدول ۱: پارامترهای مورد استفاده در محاسبه عمق اویلر

مقدار	پارامتر
۱/۵	اندیس ساختاری
۱۰	حداکثر درجه تیلورانس عمق
۱۰	اندازه پنجره
صفر	حداکثر فاصله قابل قبول (متر)
۲	ارتفاع برداشت (متر)

در شکل ۱۹ عمق‌های به‌دست‌آمده از روش اویلر بر روی نقشه بی‌هنجاری برگردان به قطب نمایش داده شده است. همان‌طور که در این شکل دیده می‌شود، جواب‌های به‌دست‌آمده منطبق با بی‌هنجاری‌های مغناطیسی منطقه است و به‌طور غالب بیشتر عمق به‌دست‌آمده مربوط به قسمت فوقانی و یا سطوح جانبی بی‌هنجاری‌ها است. همان‌طور که در نقشه ۱۹ نشان داده شده است، عمق‌های حاصل در منطقه از ۰ متر تا ۱۸۸ متر با میانگین کلی حدود ۴۸۰ متر و انحراف معیار ۱۹ متر می‌باشد که نشان‌دهنده عمق متوسط سلف منابع مغناطیسی در محدوده است.



شکل ۱۹: نقشه تخمین عمق اویلر در محدوده اکتالی

۱-۶- مدل‌سازی دوبعدی و سه‌بعدی

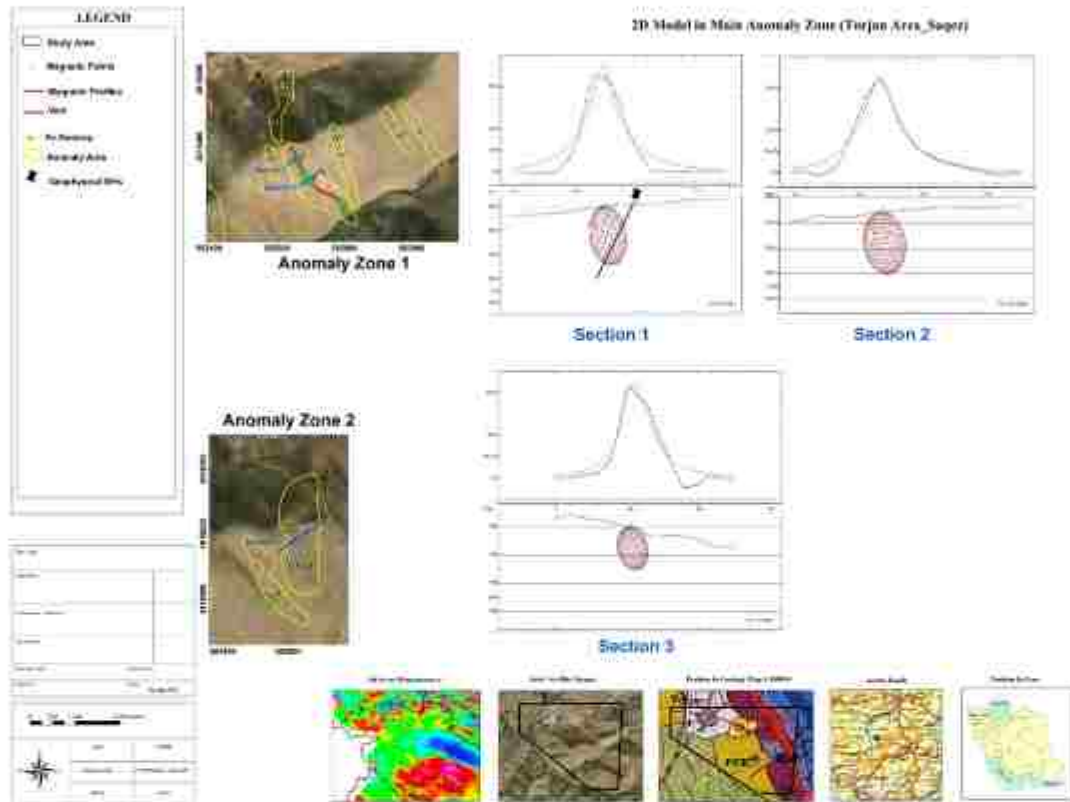
هدف از تفسیر منشأهای بی‌هنجاری مغناطیسی پنهان درون زمین، به دست آوردن خودپذیری مغناطیسی، شکل، هندسه و ژرفای آن‌ها است. به‌صورت کلی مدل‌سازی منشأ بی‌هنجاری‌های مغناطیسی را می‌توان یکی از مهم‌ترین بخش‌های تحلیل عددی به‌حساب آورد که می‌تواند اطلاعات ارزشمندی از بخش‌های پنهان توده‌ها در اختیار بگذارد [6]. در مدل‌سازی داده‌های ژئوفیزیکی از دو شیوه پیشرو و وارون انجام می‌شود. در مدل‌سازی پیشرو، یک سری پارامترهای اولیه شامل، عمق، جنس توده و شکل هندسی آن، تعریف می‌شود. سپس بعضی از این پارامترهای مدل تغییر داده می‌شود تا پاسخ ناشی از آن‌ها به داده‌های واقعی، همخوانی پیدا کند. سلاک همخوانی در این نوع مدل‌سازی معمولاً تجربی و برگرفته از سعی و خطا است:

در محدوده ترچان تعداد ۸۲۰۵ نقطه مغناطیس‌سنجی برداشت شده است که با توجه وسعت زیاد محدوده برداشت و همچنین پیچیدگی زمین‌شناسی منطقه با وجود واحدهای گنی‌زایی ضمن حجم سنگین محاسبات، رسیدن به نتیجه مورد انتظار را امکان‌پذیر نمی‌کند. درنهایت به دلیل پیچیدگی بسیار زیاد رفتار بی‌هنجاری، نتایج مدل دوبعدی تنها بر روی دو زون بی‌هنجاری اصلی (A1 و A8) انجام شد. با فرض مقادیر خودپذیری مغناطیسی گنی‌مگنتیت-هماتیت در زون‌های مشابه، مقدار خودپذیری مغناطیسی در این مدل‌سازی به‌عنوان داده اولیه حدود ۰.۱ در سیستم SI در نظر گرفته شد.

۱-۶-۱ مدل‌سازی دوبعدی در محدوده

در این پژوهش مدل‌سازی دوبعدی در زون A1 و A8 و بر روی ۳ مقطع شاخص انجام شده است. در شکل ۲۰ محل پروقیل‌های موردنظر نشان داده شده است. طول موج بی‌هنجاری در دو پروقیل زون A1 تقریباً یکسان بود و به‌تبع آن مدل‌سازی توده بیضوی که به‌عنوان مدل اولیه در نظر گرفته شده است، دارای ابعاد و ابعاد مختلف است. ضخامت رگه از ۵ متر تا ۱۰ متر متغیر بوده و عمق گنی‌زایی نیز از ۰ متر تا ۳۰ متر متغیر است. گسترش طولی مدل در حدود ۲۵۰ متر است.

طول موج بی‌هنجاری در پروفیل زون A8 بیشتر بوده و ضخامت رگه از ۲۰ متر تا ۳۰ متر متغیر بوده و عمق کانی‌زایی نیز از ۰ متر تا ۶۰ متر متغیر است. گسترش طولی مدل در حدود ۲۵۰ متر تخمین شده می‌شود. در مدل دوبعدی یک نقطه حفاری مشخص شده است که نتایج به دست آمده می‌تواند جهت کالیبره کردن نتایج و مدل‌سازی سه‌بعدی ۵ بی‌هنجاری دیگر مورد استفاده قرار گیرد.



شکل ۲۰: مدل دوبعدی در زون‌های بی‌هنجاری در محدوده اکتشافی

۷- نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج ضریب همبستگی پیرسن مشاهده می‌گردد که عنصر Cu همبستگی متوسطی را با عناصر As, Ba, Ce و عنصر Pb با عناصر Mn, Zn همبستگی متوسطی را نشان می‌دهد که نشان دهنده روابط پارازنتیکی بین این عناصر در منطقه است. با توجه به مطالعه گروه‌های به دست آمده از آنالیز فاکتوری مشخص می‌شود که عناصر من با عناصر منگنز، آرسنیک، کروم، نیکل و سرب همبستگی مثبت دارد و همچنین کانی‌سازی عناصر Pb, Zn, Fe, P با همدیگر اتفاق افتاده است. این نتایج با نتایج ضریب همبستگی پیرسن مطابقت نشان می‌دهد و همدیگر را تایید می‌کنند. آنومالی بیشتر عناصر در این محدوده بیشتر در شرق محدوده و مشتمل بر واحدهای زمین‌شناختی شامل دولومیت، گنایس، گرانیت گنایس و تیتست می‌باشد. در مرز بین واحد تیتستی و گرانیت گنایس با دولومیت سلطانیه، زون هورنفلسی تشکیل شده و بیشتر آنومالی‌ها بیشتر بر روی این زون قرار دارد.

در این محدوده با ۶ نمونه کانی سنگین به روش تغلیظ آماده‌سازی و مطالعه نمونه‌های کانی سنگین مورد تحقیق قرار گرفت، که در بررسی این نمونه‌ها، نکات ذیل دارای اهمیت می‌باشد:

- ۱- در بررسی نمونه‌ها، نتایج مطالعه آنها به دو صورت کمی (گرم در تن) (Quantity) و درصد وزنی (X) مورد ارزیابی و تفسیر قرار گرفته است.
- ۲- بر اساس مطالعه نمونه‌های کانی سنگین می‌توان به طور مستقیم حضور یا عدم حضور کانی‌زایی‌ها در یک منطقه را بررسی کرد.



- ۳- در مطالعه و گزارش نمونه‌های کانی سنگین، حضور یک کانی دارای آنومالی‌های اقتصادی حتی به مقدار یک ذره، نشان دهنده غنی‌شدگی کانی‌زایی کانه مورد نظر در منطقه می‌باشد.
- ۴- در فاز غیر مغناطیسی، کانی‌های زیرکن، باریت، کلسیت، کوارتز و فلدسپات به صورت انتشار گرم در تن وکالی‌های آپاتیت، روتیل، پیریت، اسفن و لوکوکسن به صورت انتشار جزئی یا چند ذره‌ای مشاهده شده است.
- ۵- در فاز مغناطیس متوسط نمونه‌ها: کانی‌های هماتیت، ایلمنیت، پیروکسن، آمفیبول، لیمونیت، پیریت اکسید و کلریت دارای انتشار گرم در تن وکالی‌های هماتیت، بیوتیت، کرومیت و ماریت دارای انتشار پراکنده و جزئی می‌باشد.
- ۶- یکی از مهم‌ترین کانی‌زایی‌های مشاهده شده در منطقه حضور ذره طلا در محدوده مورد نظر می‌باشد. این ذره طلا دارای شکل لامپی و گرد شده هستند که در نمونه شماره TR-H-11 (ذره) مشاهده شده است. بر اساس نتایج و نقشه‌های آنومالی گروه‌های کانی سنگین در محدوده اکتشافی، قسمت شرقی محدوده پتانسیل اکتشاف کانی‌های فلزی را دارا می‌باشد.
- در مطالعه مغناطیس‌سنجی تعداد کل ۸۳۶۵ (۵۸۵۴=۲۵۱۱) ایستگاه مغناطیسی برداشت شد. پس از انجام پردازش‌ها و تصحیحات لازم بر روی داده‌ها، نقشه‌های میدان مغناطیسی تهیه شد. سپس بر اساس تفسیرهای کیفی و همچنین مدل‌سازی‌های سه‌بعدی، نتایج زیر به دست آمد:
- بر اساس نقشه‌های میدان مغناطیسی تعداد حداقل ۱۸ زون بی‌هنجاری مغناطیسی شناسایی گردید که زون بی‌هنجاری A1 از نقطه نظر کانی‌سازی آهن، در اولویت اول انجام ادامه اکتشافات است. طول این زون یا روند تقریباً جنوب‌غربی-شمال‌شرقی حدود ۲۵۰ متر بوده که نوید یک زون اقتصادی را در این بی‌هنجاری می‌دهد. همچنین زون بی‌هنجاری A8 نیز به عنوان دومین زون امیدبخش معرفی شد.
 - در بیشتر زون‌ها شدت بی‌هنجاری برای وجود کانی‌زایی مگنتیت کافی نیست، با این حال وجود دوقطبی مغناطیسی و ساختار خطی کانی نوید وجود کانی‌زایی مگنتیت در عمق را می‌دهد.
 - چندین گسل عمود بر روند بی‌هنجاری دیده می‌شود که باعث قطع شدن بی‌هنجاری و تغییر شکل آن شده است. بطوریکه به دلیل پیچیدگی رفتار بی‌هنجاری امکان مدل‌سازی سه‌بعدی برای کل محدوده میسر نشد.
 - علی‌رغم شدت پایین و طول موج بسیار کم اکثر بی‌هنجاری‌ها روند کاملاً خطی و مشخصی با آرموت ۳۳۵ تا ۳۵۵ درجه در کل محدوده دیده می‌شود.
 - مدل‌سازی‌های دوبعدی نشان از ضخامت و عمق کم رگه‌ها در دو بی‌هنجاری A-1 و A-8 دارد.
 - بر اساس نتایج روش اویلر بر روی داده‌ها، به نظر می‌رسد عمق سقف منشأ آنومالی‌ها در زون‌های بی‌هنجاری متوسط بوده و به‌طور میانگین در عمق ۴۸ متری تخمین زده می‌شود.
 - بر اساس تفسیر ساختاری داده‌های مغناطیسی، تعداد ۱۴ گسل مهم در منطقه آشکار شد. گسل‌های مغناطیسی شناسایی شده حاکی از سازوکار تکتونیک قوی در منطقه دارد.
- در مجموع ادامه عملیات اکتشاف نیمه تفضیلی و تفصیلی جهت حصول به ذخیره اقتصادی توصیه می‌شود.

منابع

- [1] آقایی، ع. ۱۳۸۵ زمین‌شناسی ایران. تهران: نشر سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- [2] Habashi, Jabar, Majid Mohammady Oskouei, and Hadi Jamshid Moghadam. "Classification of ASTER Data by Neural Network to Mapping Alterations Related to Copper and Iron Mineralization in Birjand." *Journal of Mining and Environment* 15 2 (2024): 649-665..
- [3] Habashi, Jabar, Majid Mohammady Oskouei, and Hadi Jamshid Moghadam. "Optimizing Mineral Detection: A Comparative Study of Multispectral and Hyperspectral Remote Sensing Techniques in the Sar-e-Chah-e Shur, Iran."
- [4] Zuo, Renguang, and Ying Xu. "A physically constrained hybrid deep learning model to mine a geochemical data cube in support of mineral exploration." *Computers & Geosciences* 182 (2024): 105490.
- [5] Haritha, K. "Processing and Interpretation of Magnetic and IP-Resistivity Data." *ASEAN Journal for Science and Engineering in Materials* 3 1 (2024): 1-20.
- [6] Pham, Luan Thanh, Saulo Pomponet Oliveira, and Cuong Van Anh Le. "Editorial for the Special Issue "Application of Geophysical Data Interpretation in Geological and Mineral Potential Mapping"." *Minerals* 14.1 (2024): 63.