الگوی زمین شناسی، دگرسانی و بی هنجاری مغناطیسی کانسار مس پورفیری مسجدداغی (شرق جلفا)

علی امامعلی پور[۱]، میر ابراهیم خاتمیان[۲]، رسول اسکویی[۳]،جعفر عبدالهی شریف[۴]

۱و۴- گروه مهندسی معدن، دانشکده فنی دانشگاه ارومیه

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد اکتشاف معدن، دانشگاه ارومیه

۳- شرکت مهندسین مشاور صمان کاو

تاریخ دریافت: ۹۰/۴/۲۷ تاریخ پذیرش: ۹۰/۱۰/۱۹

a.imamalipour@urmia.ac.ir

چکیده

در ناحیه مسجدداغی (شرق جلفا)، کانی سازی های مس پورفیری- طلای اپی ترمالی در پیوند با یک مجموعه آذرین آتشفشانی- نفوذی حدواسط روی داده است. کانسار پورفیری احتمالا از نوع دیوریتی است وکانی سازی با دگرسانی پتاسیک همراه است. این دگرسانی از کانی های فلدسپار پتاسیم ثانویه، کوارتز، بیوتیت ثانویه و مگنتیت همراه با کانی های سولفیدی پیریت، کالکوپیریت و بورنیت تشکیل شده است. با توجه به حضور مگنتیت در زون پتاسیک، روش مغناطیس سنجی برای بررسی(اکتشافی) کانسار مورد استفاده قرار گرفته است. این بررسی در منطقه ای به وسعت ۵ کیلومتر مربع و شبکه برداشت ۱۰۰×۲۰ انجام گرفت و تعداد ۱۸۸۵ برداشت زمینی مغناطیسی به دست آمد. به منظور تفکیک اثرات ناحیه ای از بی هنجاری های پسماندی، تکنیک های فیلتری مختلفی هم چون برگردان به قطب، مشتق دوم و گسترش رو به بالا با استفاده از نرم افزارهای Magpick و Oasis montaj به کار گرفته شد و سپس مدل بی هنجاری مغناطیسی با استفاده از نرم افزار Geometrics بدست آمد. نتایج گویای آن است که بی هنجاری های مغناطیسی با مدل زمین شناسی کانسار و مشاهدات مستقیم حفاری های اکتشافی به ویژه موقعیت زون پتاسیک هم خوانی دارد. نتایج به دست آمده از این پژوهش، کارایی روش مغناطیس سنجی را در اکتشاف کانسارهای مس پورفیری نوع دیوریتی تایید می کند.

کلمات کلیدی: *مسجدداغی، جلفا، مس پورفیری، آلتراسیون پتاسیک، مغناطیسی سنجی*

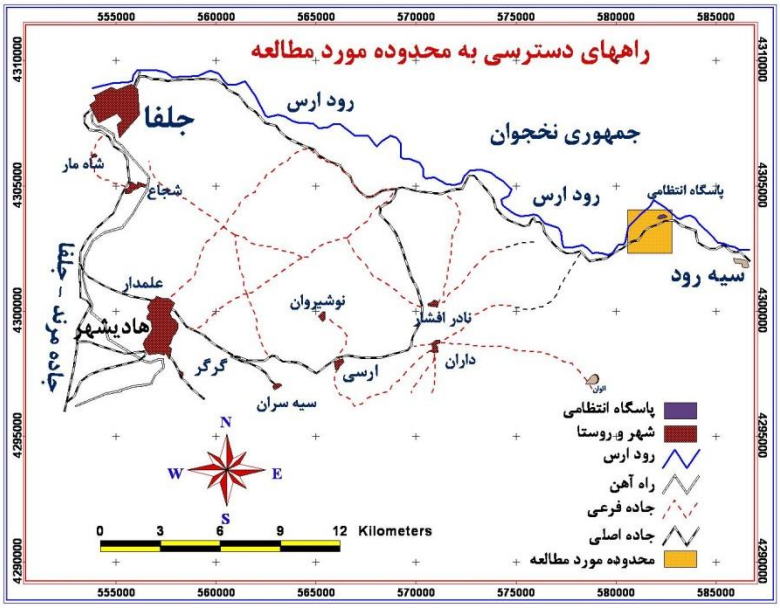
مقدمه

منطقه کانه دار مسجدداغی مشتمل بر کانی سازی های مس پورفیری طلای اپی ترمالی، در ۳۵ کیلومتری شرق جلفا (استان آذربایجان شرقی) واقع است (شکل۱). این محدوده در سال ۱۳۷۹ شناسایی گردید و از سال ۱۳۷۹ تا ۱۳۸۵ از سوی طرح اکتشاف سراسری وابسته به سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور تحت پوشش عملیات اکتشافی قرار گرفت. عملیات اکتشافی گسترده ای در سال های اخیر توسط شرکت ملی صنایع مس ایران در این ناحیه برای اکتشاف مس پورفیری شروع شده و در حال حاضر نیز حفاری گمانه ها ادامه دارد. محدوده اکتشافی مسجدداغی در مجاورت رود ارس واقع شده و بخشی از نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ جلفا با مختصات طول‌های جغرافیایی "۲۹ '۵۸ °۴۵ و"۰۵ '۵۶ °۴۵ و عرض‌های جغرافیایی "۲۲ '۵۳ °۳۸ و "۰۳ '۵۲ °۳۸ می‌باشد. جاده دسترسی منطقه ی مذکور جاده آسفالته جلفا به سیه‌رود می‌باشد و رخداد معدنی مسجدداغی در ۵ کیلومتری غرب سیه رود واقع است. منطقه مسجداغی در شمال زون فلززایی اهر قرار دارد. ادامه این زون به زون فلززایی قفقاز کوچک در آن سوی مرزهای ایران می رسد(قربانی، ۱۳۸۶) . مهم ترین رویداد پلوتونیکی ناحیه که غالب کانی سازی های فلزی در ارتباط با آن می‌باشد، توده نفوذی قره‌داغ واقع در خاور منطقه کانه دار مسجد داغی است. روندهای عمده ی ساختمانی اعم از صفحه ی محوری چین‌ها یا امتداد گسل‌ها در این ناحیه تقریباً شمال غرب- جنوب شرق هستند. واحدهای سنگی این ناحیه به طور عمده شامل توده نفوذی کم ژرفا با ترکیب سنگ شناسی دیوریت

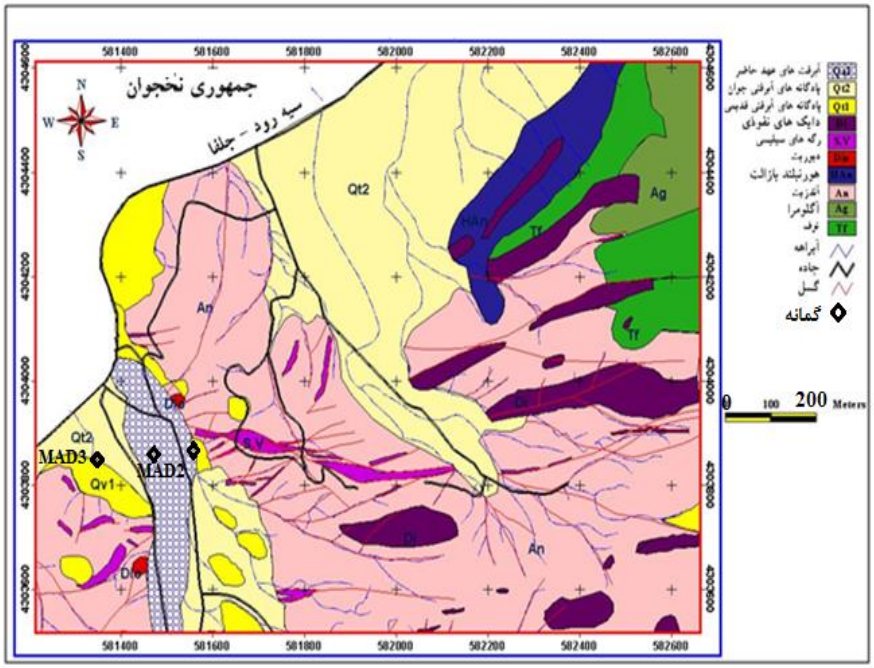
پورفیری است که به درون سنگ های آتشفشانی نوع آندزیتی- تراکی آندزیتی آندزیتی تاخیری نیز این مجموعه را قطع می کنند (شکل۲). کانی سازی و دگرسانی های همراه آن در دو سیستم پورفیری(تیپ دیوریتی) و طلای اپی ترمالی در این سنگ ها روی داده است. کانی سازی اپی ترمالی حالت تاخیری داشته و به صورت رگه های کانه دار سنگ های آتشفشانی را با راستای تقریبا خاوری – باختری بریده اند (فرد و همکاران، ۱۳۸۵ ؛ اکبرپور، ۱۳۸۴). با توجه به تنوع واحدهای آتشفشانی و نفوذی، نحوه استقرار و ارتباط آن ها به نظر می‌رسد مجموعه مسجدداغی یک آتشفشان چینه‌ای و یا آتشفشان مرکب قدیمی به سن ائوسن- الیگوسن است. روندهای عمده ساختمانی اعم از صفحه ی محوری چین ها یا امتداد گسل‌ها در این ناحیه تقریباً شمال غرب- جنوب شرق هستند(فرد و همکاران، ۱۳۸۵).

روش کار

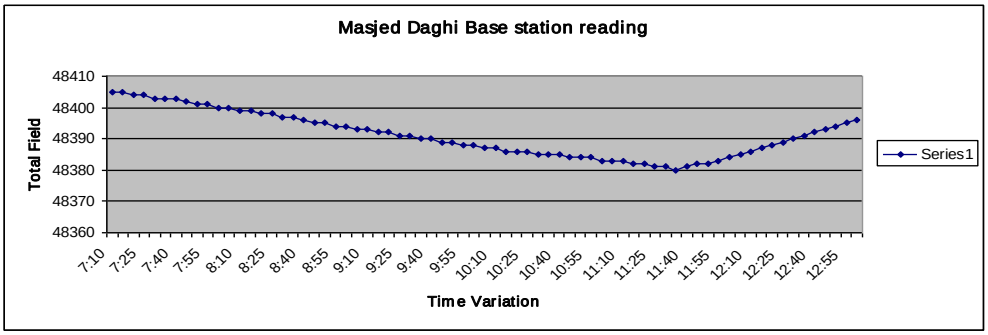
در این پژوهش به منظور تعیین الگوی زمین شناسی و دگرسانی کانسار مس پورفیری مسجدداغی از نتایج به دست آمده از بررسی مغزه های حفاری تعداد سه حلقه گمانه اکتشافی (MAD1,MAD2,MAD3) که در یک راستای شرقی- غربی در جهت عمود بر رودخانه آرپاچای حفاری شده اند، استفاده شده است. موقعیت این گمانه ها در شکل۲ نشان داده شده است. این گمانه ها به ترتیب تا اعماق ۳۰۵، ۴۰۸ و ۳۸۵/۳۰ متر حفاری شده اند. برای بررسی نوع واحد سنگی کانه دار و دگرسانی آن تعداد ۳۶ نمونه پتروگرافی و برای مطالعه زون های کانی سازی و ترکیب کانسنگ تعداد ۲۴ نمونه مینرالوگرافی از مغزه های حفاری گمانه های مذکور برداشت و مورد مطالعه قرار گرفته است. در گام بعدی، با استفاده از نتایج بررسی های میکروسکوپی و بررسی مغزه ها، الگوی گسترش زمین شناسی و دگرسانی توده ی کانه دار و سنگ های آذرآواری وابسته به آن ها تزریق شده است. یک سری دایک های تعیین شده است. با توجه به این که کانی سازی مس- طلا عمدتا با زون دگرسانی پتاسیک همراه می باشد، و نیز با توجه به حضور کانی مگنتیت در این زون دگرسانی، برای ردیابی زون پتاسیک اقدام به انجام برداشت های مغناطیس سنجی در این منطقه شد. بنابراین، حد زونارهای عامل ایجاد بی هنجاری مغناطیسی،گستره زون پتاسیک (کانه دار) است. برداشت داده های مغناطیسی با استفاده از دستگاه Geometric 856 و در یک شبکه ۲۰×۱۰۰ انجام گرفت. این دستگاه شدت کل میدان مغناطیسی را با دقت ۰/۱ نانوتسلا ثبت می کند. پس از سه بار قرائت در هر نقطه، میانگین آن ها به عنوان شدت کل میدان به نقطه مورد نظر نسبت داده شد. اندازه گیری با مگنتومتر مبداء هر پنج دقیقه یک بار انجام شد و بعد از پایان برداشت ها در انتهای روز قرائت های Ref.Base و ایستگاه ثابت را مقایسه نموده و سپس تصحیحات لازم انجام گرفت. نتایج تصحیح شده به صورت نقشه شدت کل میدان مغناطیسی ترسیم گردید. اگر تغییرات روزانه به ازای ساعت بیشتر از ۱۵ تا ۲۰ گاما نباشد، به تصحیح نیازی نخواهد بود. درهرحال این تغییرات باید نسبت به زمان خطی باشند و بهتر است هیچ گونه اغتشاش بزرگی در آن ها نباشد(نظیر اغتشاشات ناشی از طوفان های مغناطیسی). شکل۳ ، تغییرات روزانه ایستگاه مبداء را نشان می دهد. پس از برداشت های صحرایی، نقشه شدت کل میدان مغناطیسی با استفاده از نرم افزار Oasis Montaj ترسیم شد. حد زمینه منطقه مورد پیش بینی با استفاده از برنامه IGRF معتبر دنیا به دست آمده که شدت آن nT 48373 می باشد. حد اکثر شدت میدان کل در منطقه مورد مطالعه 49974nT و حداقل آن 47078 نانوتسلا اندازه گیری شده است (مهندسین مشاور صمان کاو، ۱۳۸۵) .



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی کانسار مس پورفیری- طلای اپی ترمالی مسجدداغی



شکل ۲. نقشه زمین شناسی محدوده کانسار مسجدداغی، اقتباس از [۵].

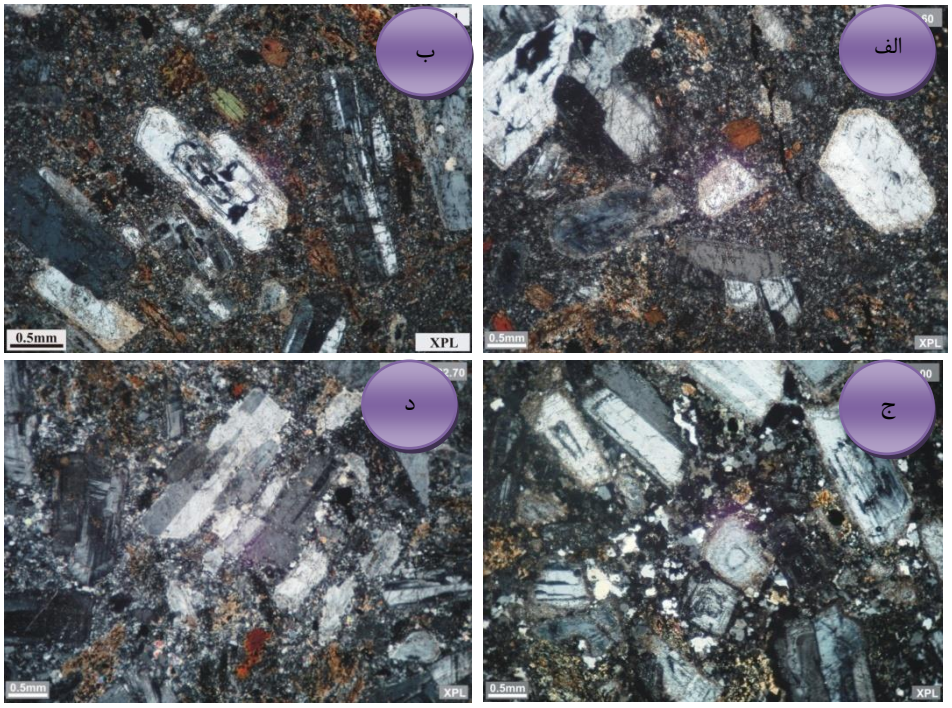


شکل ۳.دامنه تغییرات در ایستگاه مبداء

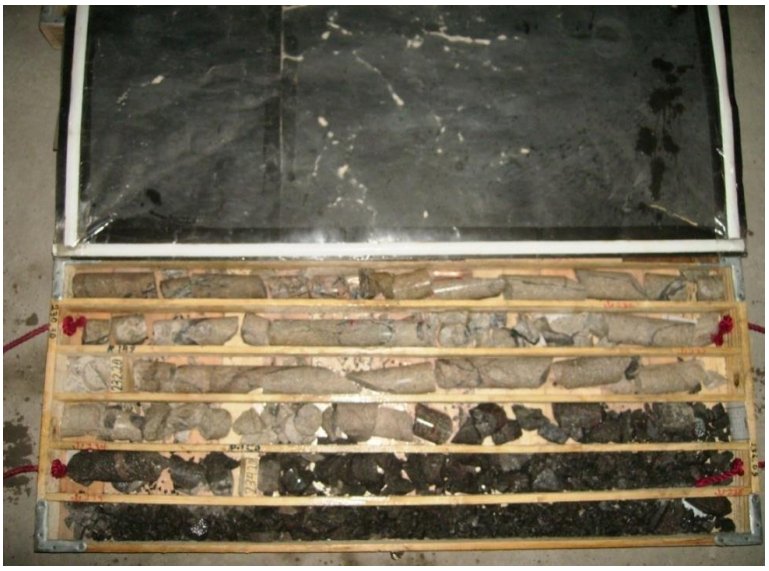
بحث

سنگ میزبان کانی سازی

بر پایه اطلاعات به دست آمده از حفاری های اکتشافی، اگرچه کانی سازی پورفیری عمدتادر توده ی کم ژرفای دیوریت پورفیری روی داده است ولی بخشی از کانی سازی در سنگ درونگیر آتشفشانی با ترکیب آندزیتی واقع است. واحد آندزیتی بافت میکروپورفیری داشته و با فنوکریست های پلاژیوکلاز و هورنبلند شناخته می شود. پلاژیوکلاز ها اکثرا ساخت منطقه ای دارند (شکل۴-الف). در برخی موارد نیز ساخت جریانی در آن قابل مشاهده است (شکل۴-ب). سنگ درونگیر آندزیتی در سطح زمین گسترش دارد. به طرف عمق جای خود را به توده نفوذی (کم عمق) با ترکب دیوریتی می دهد. از نظر پتروگرافی، این سنگ نیز بافت پورفیری با فنوکریست های پلاژیوکلاز دارد. تفاوت بارز پتروگرافی آن ها در فراوانی و درشت تر بودن فنوکریست ها به ویژه پلاژیوکلاز های دیوریت پورفیری نسبت به آندزیت است. از نظر ظاهری نیز دیوریت پورفیری با رنگ تیره تر نسبت به آندزیت شناخته می شود (شکل های۴-ج و د). کانی سازی در واحد سنگی اخیر شدت بیش تری دارد. این سنگ تنها رخنمون بسیار کوچکی در شمال محدوده دارد و در سایر مناطق توسط آندزیت پوشیده شده است. در گمانه های اکتشافی MAD2, MAD1 و MAD3 توده ی نفوذی کم ژرفا به ترتیب در اعماق ۸۲، ۵۲ و ۹۸ متری جای دارد. همبری آن ها در مغزه های حفاری بسیار مشخص است (شکل۵). یک سری دایک های تاخیری (Post mineralization) سنگ های آندزیتی-دیوریتی یاد شده را قطع می کنند. ضخامت این دایک ها معمولا ۰/۵ تا ۲ متر است و بندرت به بیش از دو متر نیز می رسد. بر اساس بررسی ژئوشیمیایی صورت گرفته توسط (عبدلی اسلاملو، ۱۳۸۸)، سنگ های منطقه در محدوده ی کالک آلکالن با پتاسیم متوسط تا بالا و بر اساس نمودار دو متغیره Y+ Nb- Rb سنگ های منطقه در محدوده ی گرانیتوئید های کمان آتشفشانی قرار می‌گیرند. محیط تکتونیکی سنگ های پتاسیک منطقه با استفاده از نمودارهای خاص سنگ های پتاسیک پیشنهادی، مرتبط با قوس می باشد.



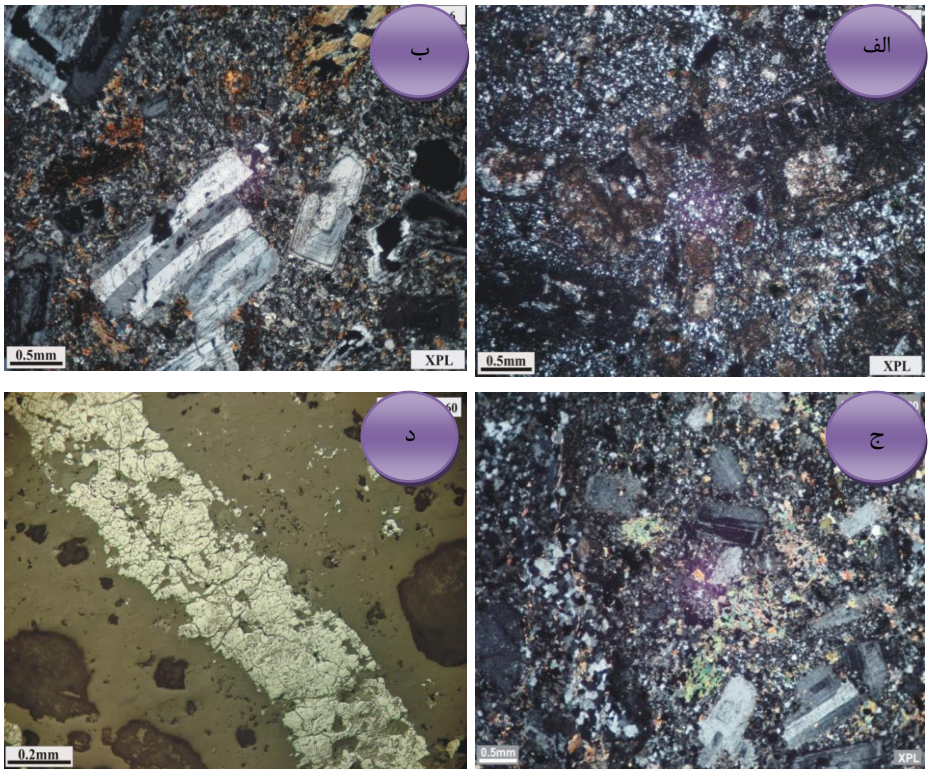
شکل۴ . بافت میکروپورفیری در آندزیت حاوی فنوکریست های پلاژیوکلاز و هورنبلند(الف)، بافت جریانی در آندزیت ، بلاژیوکلاز ها ساخت منطقه ای دارند(ب)، بافت پورفیری در واحد سنگی دیوریت پورفیری، پلاژیوکلازهای این سنگ نیز ساخت منطقه ای دارند(ج و د). نور پلاریزه، بزرگ نمایی ۴۰ برابر.



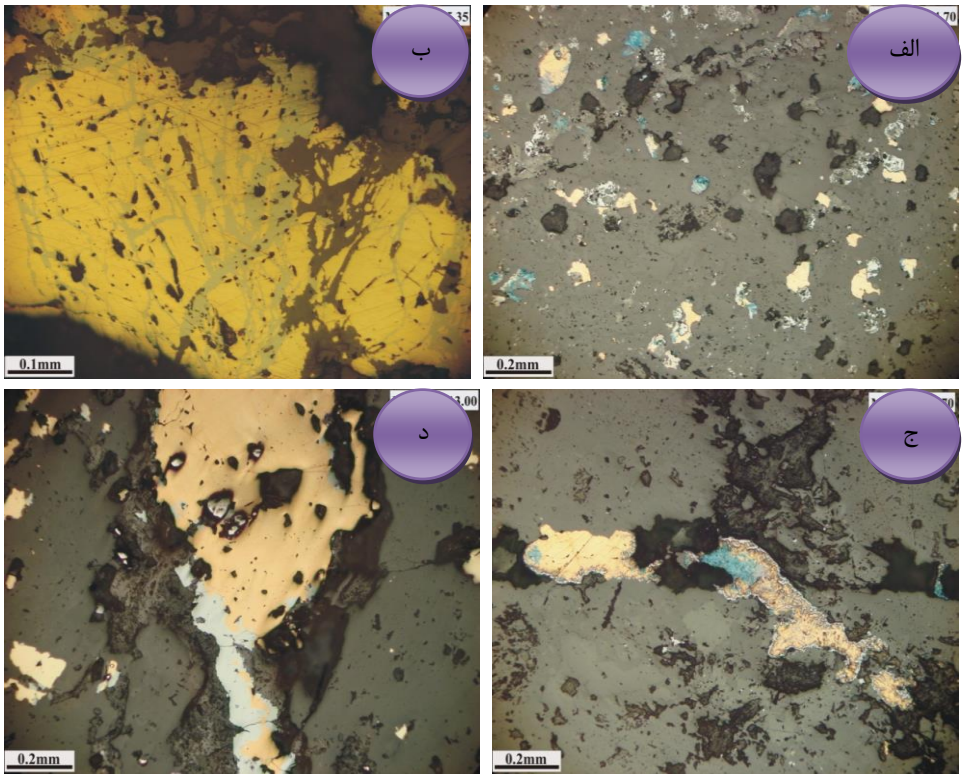
شکل۵ . همبری آندزیت پورفیری (به رنگ روشن تر) با توده نفوذی دیوریت پورفیری (به رنگ تیره تر) در مغزه های حفاری

دگرسانی و کانی سازی

بررسی های انجام گرفته توسط فرد و همکاران، ۱۳۸۵؛ اکبرپور، ۱۳۸۴؛ عبدلی اسلاملو، ۱۳۸۸ و امامعلی پور و همکاران، ۱۳۸۹ نشانگر آن هستند که کانی سازی و دگرسانی های همراه آن در منطقه مسجددداغی در دو سیستم پورفیری(تیپ دیوریتی) و طلای اپی ترمالی در این سنگ ها روی داده است. کانی سازی اپی ترمالی در بخش فوقانی سیستم پورفیری روی داده است. این کانی سازی حالت تاخیری داشته و به صورت رگه های کانه دار سنگ های آتشفشانی را با راستای تقریبا خاوری – باختری بریده اند. شواهد موجود گویای آن است که کانی سازی اپی ترمالی از نوع سولفیداسیون بالاست. دگرسانی های منطقه متاثر از انواع مرتبط با کانی سازی پورفیری و دگرسانی تاخیری مربوط به کانی سازی اپی ترمالی هستند. انواع دگرسانی های سیلیسی، آرژیلیک پیشرفته، آرژیلیک، پروپلیتیک، سریسیتیک و پتاسیک در گستره مسجددداغی قابل تشخیص است. دگرسانی پتاسیک (نوع بیوتیتی) بیشتر در مغزه های حفاری شناسایی شده و با کانی سازی پورفیری در ارتباط می باشد. اثرات روی هم افتادن (Overprinting) فاز دگرسانی تاخیری بر روی فاز دگرسانی پیشین به چشم می خورد(فرد و همکاران، ۱۳۸۵؛ اکبرپور، ۱۳۸۴؛ عبدلی اسلاملو، ۱۳۸۸ و امامعلی پور و همکاران، ۱۳۸۹). از میان دگرسانی های یاد شده به نظر می رسد که انواع سیلیسی، آرژیلیک پیشرفته و آرژیلیک بیش ترین ارتباط را با کانی سازی اپی ترمالی داشته باشند (امامعلی پور و همکاران، ۱۳۸۹). به نظر می رسد که دگرسانی پروپلیتیک که در گستره ی وسیعی سنگ ها را تحت تاثیر قرار داده است، با کانی سازی پورفیری مرتبط با استوک پورفیری واقع در عمق در ارتباط باشد. دگرسانی آرژیلیک سنگ های آندزیتی بیشتر در رخنمون ها قابل مشاهده است. این دگرسانی با تخریب فلدسپارها و جایگزینی آن ها با کانی های رسی شناخته می شود(شکل۶-الف). بر اساس مطالعه کانی شناسی به روش XRD ، کانی رسی غالب مونت موریلونیت است. دگرسانی پتاسیک در سنگ درونگیر آندزیتی در درجات متفاوتی روی داده است. مهم ترین تغییر کانی شناسی در این دگرسانی تشکیل بیوتیت های ثانویه است به گونه ای که آمفیبول ها عمدتا از حواشی تبدیل به بیوتیت شده اند. بیوتیتی شدن هم چنین در مواردی پلاژیوکلازها و کانی های ریز موجود در زمینه سنگ را نیز در بر می گیرد (شکل های ۲،۳ و ۸). شدت دگرسانی پتاسیک در توده دیوریت پورفیری که بخش اصلی کانی سازی در آن قرار دارد، بیشتر است. از نظر کانی شناسی، این دگرسانی با حضور فلدسپار پتاسیم به صورت رگچه ای (همراه با کوارتز)، و در بیشتر موارد با حضور بیوتیت ثانویه (به صورت پراکنده یا رگچه ای) همراه با مگنتیت و کوارتز شناخته می شود. این رگه ها با رگه های نوع M که در سیستم های پورفیری Cu-Au در نتیجه دگرسانی گرمابی پیشرونده توسط سیالات ماگمایی تشکیل می-شوند(Gustafson and Hunt, 1975 ; Corbet, 2009)، مطابقت دارد. (شکل های۶-ب، ج و د). در دایک های تاخیری دگرسانی شامل تبدیل پلاژیوکلازها و کانی های مافیک به مجموعه ای از کانی های رسی، سرسیت و کلریت است. کانه های سولفیدی در رگه های زون پتاسیک شامل کالکوپیریت، کالکوزیت و بورنیت است که با پیریت همراهی می شود. هم چنین مگنتیت به عنوان کانی اکسیدی در بیشتر موارد در این زون یافت می شود (رگه های کوارتز- مگنتیت- سولفید). رگه های دیگری نیز وجود دارند که از کوارتز- پیریت- کالکوپیریت- بورنیت تشکیل شده اند (رگه های کوارتز- سولفید). این رگه ها از نوع رگه های نوع A در سیستم های پورفیری هستند. مولیبدنیت در مقادیر بسیار کم تشکیل شده است و در بیشتر مناطق کانه دار (مغزه های حفاری) مشاهده نمی شود. ساخت و بافت کانسنگ از نوع رگچه ای، پرکننده درزه ها و افشان است کانه های سولفیدی بیشتر با رگچه های کوارتز در ارتباط اند. به نظر می رسد که در توالی پاراژنزی کالکوپیریت مقدم بر کالکوزیت باشد، چرا که کانی اخیر به صورت رگه- رگچه در کالکوپیریت جانشین شده است(شکل های۷-الف تا د).



شکل۶ . دگرسانی آرژیلیک در آندزیت، تخریب فلدسپارها و جانشینی کانی های رسی در آن ها (الف)، دگرسانی پتاسیک در دیوریت پورفیری، بیوتیتی شدن آمفیبول از حواشی و نیز تشکیل بیوتیت های ثانویه در کانی های زمینه سنگ به همراه رگچه کوارتز و کانی های اوپاک به رنگ تیره (ب و ج)، حضور کانی مگنتیت در زون پتاسیک به صورت رگچه و پراکنده در متن (د).



شکل۷ . بافت افشان با کانه های کالکوپیریت، کوولین و کالکوسیت، کالکوپیریت به طور بخشی به کوولین و کالکوسیت دگرسان شده است . اکسیدهای ثانوی آهن به طور پراکنده در متن قابل مشاهده است (الف)، جانشینی کالکوسیت در کالکوپیریت در ریز درزه ها (ب)، دگرسانی کالکوپیریت به کوولین و کالکوسیت از حواشی (ج)، دانه درشت کالکوپیریت که از حاشیه به کالکوسیت تبدیل می شود. کالکوپیریت دانه های پیریت ریز بلور را در برگرفته است(د).

الگوی منطقه بندی عمقی کانی سازی و دگرسانی

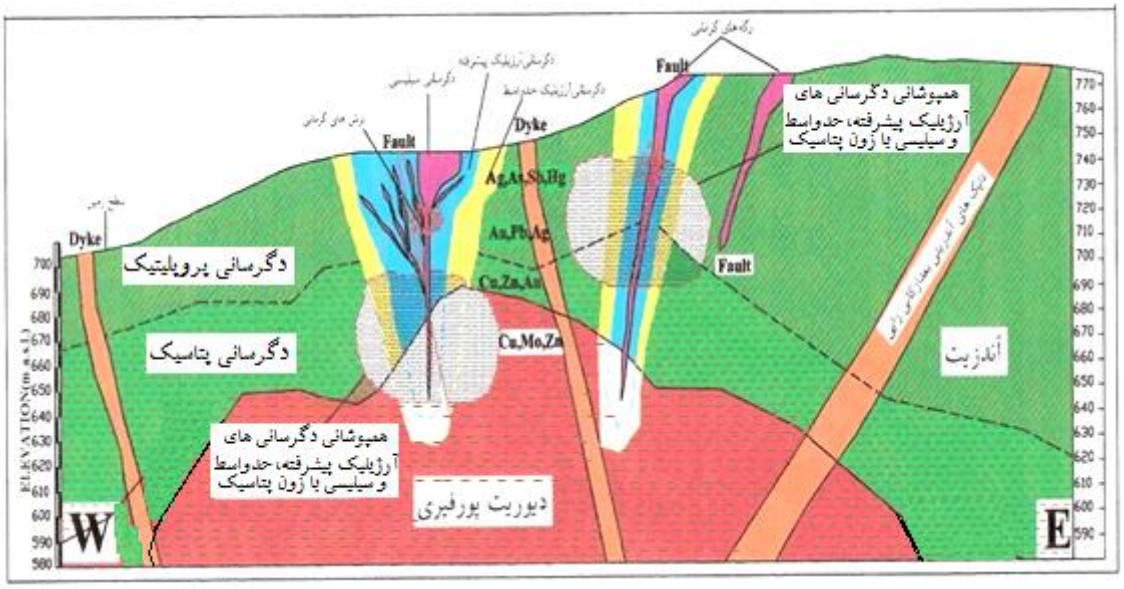
کانی سازی پورفیری مسجدداغی در ارتباط با یک سیستم آتشفشانی _ نفوذی با ماهیت آندزیتی _ دیوریت پورفیری روی داده است. بررسی های انجام گرفته توسط اکبرپور (۱۳۸۴)، و فرد و همکاران (۱۳۸۵) نشان داده است که کانی سازی در این مجموعه از نوع مس- طلا می باشد. در یک راستای عمودی، کانی سازی هم در واحد آتشفشانی (آندزیت) و هم در توده ی کم ژرفای (دیوریت پورفیری) زیری آن روی داده است، اما پیکره ی اصلی توده معدنی در توده ی دیوریت پورفیری است. دگرسانی اصلی همراه با کانه زایی از نوع پتاسیک است. شواهد مذکور دال بر این هستند که کانسار مس پورفیری مسجدداغی از نوع دیوریتی است. در سطح زمین دگرسانی پروپلیتیک گسترش دارد و در راستای قائم به به زون دگرسانی پتاسیک می رسد.

گمانه ی اکتشافی MAD01 با دگرسانی پتاسیک شروع می شود، از این رو دگرسانی پتاسیک در سطح زمین در برخی نقاط رخنمون های محدودی دارد. در گمانه MAD02 این دگرسانی از عمق ۵۲ متری شروع می شود . از سطح تا متراژ ۴۳/۱ پوشش آبرفتی آبراهه و از ۴۳/۱ تا ۵۲ متری دگرسانی از نوع آرژیلیک (در واحد آندزیتی) است. در گمانه MAD03 نیز دگرسانی از سطح تا عمق ۳۴ متری از نوع آرژیلیک بوده و نوع پتاسیک از ۳۴ متر شروع می شود. زون دگرسانی فیلیک در این کانسار تشکیل نشده است. تنها دایک های آندزیتی تاخیری دگرسانی سرسیتیک از خود نشان می دهند. از نظر زون های کانی سازی، زون اکسیداسیون در گمانه های یاد شده به ترتیب ۴۹/۷، ۵۴ و ۸۴ متر ستبرا داشته و زون هیپوژن در زیر آن واقع است. حفاری های اکتشافی نشان داده است که کانی سازی هیپوژن تا اعماق بیش از ۶۰۰ متری گسترش دارد. زون سوپرژن در این کانسار (حداقل در محدوده گمانه های سه گانه مورد بررسی) تشکیل نشده است. موقعیت توده ی دیوریت پورفیری تقریبا بر محور آبراهه آرپاچای منطبق است. با توجه به این که این توده در سطح زمین رخنمون چندانی ندارد، از این رو ابعاد آن مشخص نیست، ولی با توجه به حفاری های محدود انجام گرفته به نظر می رسد که ابعاد سطح آن حدود ۴۰۰ متر در راستای خاوری - باختری و ۷۰۰ متر در راستای شمالی- جنوبی باشد. بنابر این می توان گفت که این توده، یک استوک با دیواره هایی با شیب تند باشد.

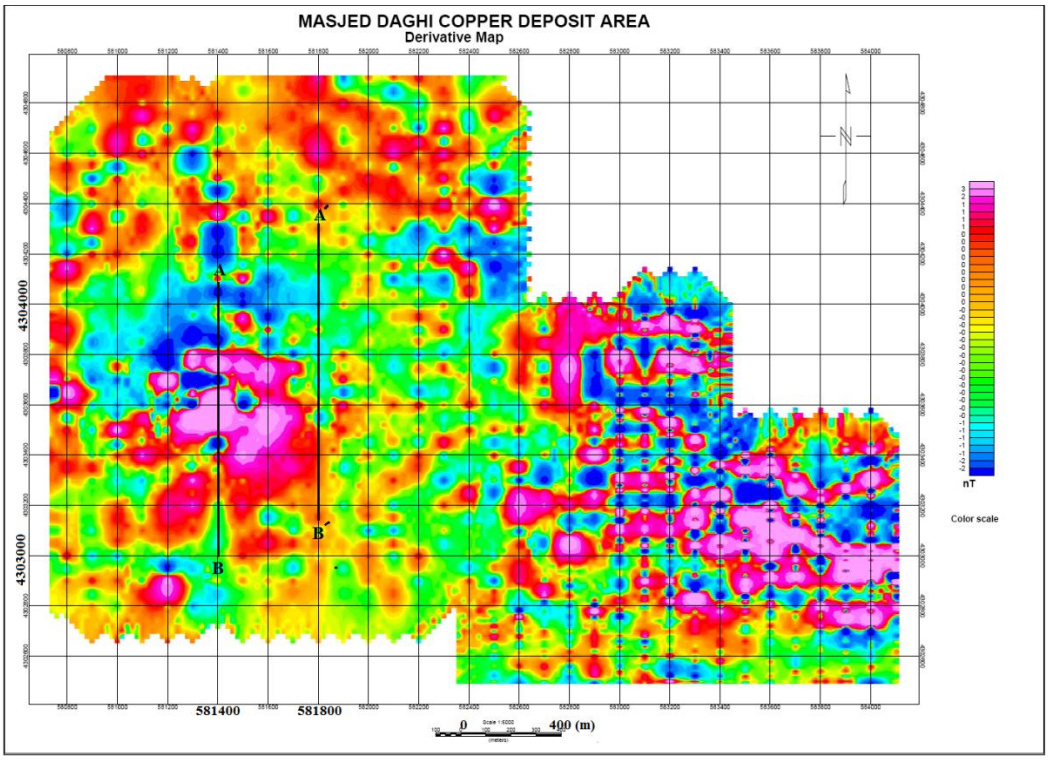
نبود زون دگرسانی فیلیک در این کانسار با مدل ارائه شده توسط Silito (1993) برای کانسارهای مس پورفیری غنی از طلا مطابقت دارد که خود منطبق با کانسارهای مس پورفیری مدل دیوریتی توصیف شده توسط Evans (1993) می باشد. از ویژگی های مهم کانسارهای نوع دیوریتی غلظت (فوگاسیته) پایین گوگرد در سیال ماگمایی است که منجربه تشکیل کانه مگنتیت در زون پتاسیک می شود (Evans,1993). همان گونه که ذکر شد، در زون پتاسیک کانسار مورد مطالعه، کانه مگنتیت به صورت رگه- رگچه همراه با مجموعه کانی شناسی فلدسپار پتاسیم (ارتوکلاز)، کوارتز، بیوتیت، کالکوپیریت، پیریت، کالکوزیت و بورنیت تشکیل شده است (شکل ۶- د). رگه های یاد شده در دماهای بالا و تنها در زون دگرسانی پتاسیک تشکیل می شوند. الگوی زمین شناسی، دگرسانی و کانی سازی کانسار مسجدداغی بر اساس گمانه های مطالعه شده در شکل۸ نشان داده شده است.

بررسی نقشه شدت کل میدان مغناطیسی

روش مغناطیسی سنجی قدیمی ترین روش اکتشافی ژئوفیزیکی به شمار می رود . آغاز این علم با کشف گیلبرت بود و در واقع اکتشافات مغناطیسی پایه کلیه اکتشافات ژئوفیزیکی محسوب می شوند. سنگ ها دارای مواد با خودپذیری مغناطیسی متفاوت در حضور میدان مغناطیسی زمین، مغناطیس القا شده از خود بروز می دهند و از روی همین خاصیت می توان توده های مغناطیسی زیر سطحی را به واسطه ی تغییرات ایجاد شده در میدان مغناطیسی زمین اکتشاف کرد. میدان مغناطیسی زمین تا آن جا که به اکتشافات ژئوفیزیکی مربوط است، از سه قسمت تشکیل شده است، میدان اصلی (داخلی)، میدان خارجی و میدان آنومالی. میدان اصلی با زمان ثابت نیست اما به آرامی تغییر می کند و منشاء آن داخلی است. علی رغم پیچیدگی شکل میدان و تغییرات آن با زمان می توان آن را با دقت به طور ریاضی شرح داد (Telford, et. al., 1990 ; Milson, 1987). بر اساس نقشه شدت کل میدان مغناطیسی (شکل۹)، بی هنجاری مغناطیسی در دو بخش جنوب و جنوب شرق محدوده به ثبت رسیده است. بی هنجاری بخش جنوبی (اطراف رودخانه آرپاچای) منطبق بر گمانه های بررسی شده است که زون پتاسیک در آن گسترش دارد. در بخش جنوب شرق محدوده نیز بی هنجاری با شدت بالا به ثبت رسیده که این بخش نیز حائز اهمیت بوده و آثار و شواهد دگرسانی پتاسیک در این بخش مشاهده شده است. به طور کلی محدوده های دگرسانی پروپلیتیک و آرژیلیک از شدت میدان مغناطیسی کمتری برخوردار بوده که بر روی نقشه شدت کل میدان مشخص شده است. می توان گفت که این محدوده از نقطه نظر شدت میدان مغناطیسی از دو بخش مجزا تشکیل شده است. شدت های بالا بر زون دگرسانی پتاسیک در محل کانی سازی مس منطبق است، از این رو با اعمال فیلترهایی از قبیل مشتق گیری، گسترش رو به بالا، برگردان به قطب بر روی داده های خام می توان به ماهیت واقعی آن ها پی برد. شکل ۳ تغییرات میدان کل مغناطیسی را در محدوده کانسار نشان می دهد.



شکل ۸. الگوی زایشی کانی سازی مس پورفیری- طلای اپی ترمالی در منطقه مسجددداغی. لازم به توضیح است که زون دگرسانی پتاسیک در راستای عمقی در توده دیوریت پورفیری نیز گسترش می یابد.



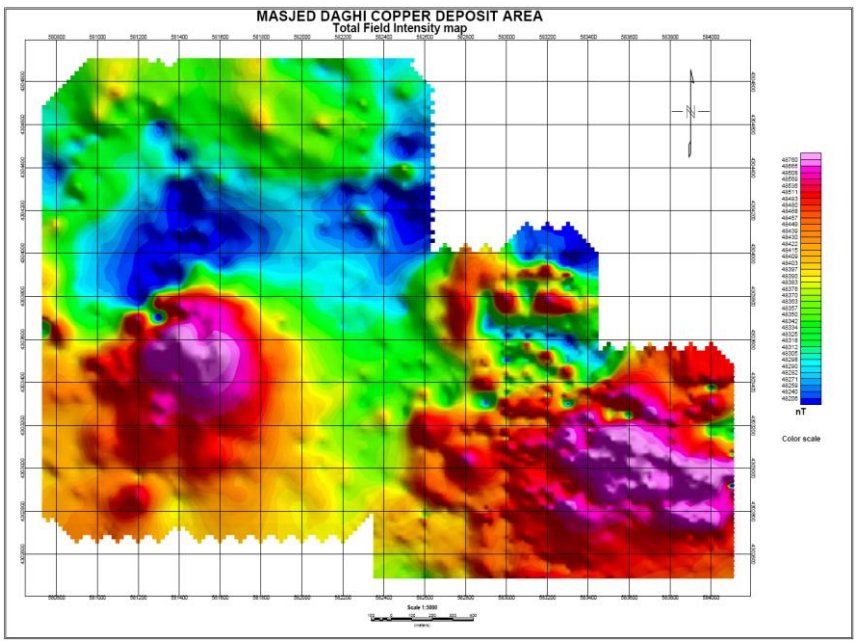
شکل۹. نقشه شدت کل میدان مغناطیسی محدوده مسجد داغی

بررسی نقشه مشتق دوم و گسترش روبه بالای داده های مغناطیسی

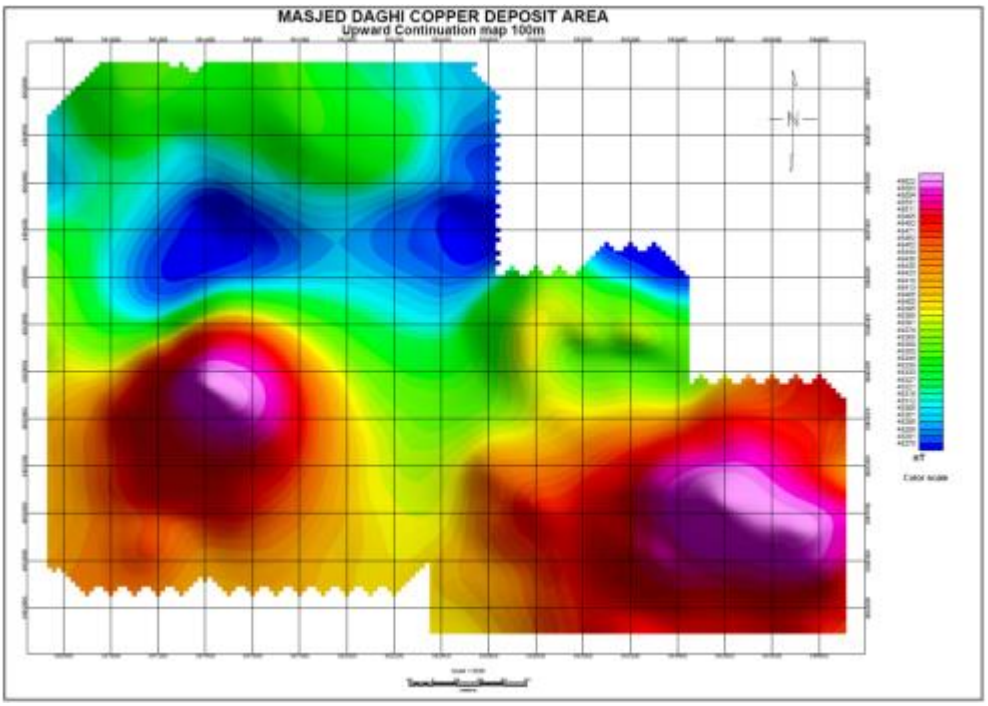
از مشتقات قائم میدان مغناطیسی به منظور حذف اثرات ناحیه ای و برجسته ساز ی عوامل کم عمق و سطحی استفاده می شود. طبق یکی از اصول حاکم بر میادین پتانسیلی، آنومالی های سطحی، طول موج کوتاه و در مقابل عوامل ناحیه ای از خود آنومالی های با طول موج بلندتر نشان می دهند. از این رو با مشتق گیری از میدان آنومالی های مغناطیسی و به علت پائین بودن درجه آنومالی های عمیق، اثر آن ها تا حدودی از بین رفته وعوامل سطحی باقی مانند. شدت میدان مغناطیسی با نسبت $1/r^3$ با دور شدن از منبع افت می کند ولی مشتقات قائم اول و دوم میدان با نسبت های $1/r^4$ و $1/r^5$ کاهش پیدا می کنند (Milson, 1987).

به منظور برجسته سازی عوامل ایجاد کننده بی هنجاری های مغناطیسی سطحی و جداکردن پارازیت ها مشتق دوم داده های مغناطیسی محدوده مورد مطالعه با استفاده از نرم افزار magpick و از طریق تبدیل فوریه دو بعدی انجام شده و نتایج به صورت نقشه ترسیم گردیده است (شکل ۱۰). نقشه به دست آمده نشانگر آن است که بی هنجاری های ایجاد شده توسط توده های عمیق حذف شده و اثر عوامل سطحی که دارای طول موج کوتاه می باشند، نمایان تر شده اند. با افزایش درجه مشتق، عواملی که نزدیک تر به سطح هستند اهمیت بیشتری پیدا می کنند (Milson, 1987) بنابراین می توان توده های سطحی را به همراه پارازیت ها تشخیص داد. هم چنین این مشتق توانسته بی هنجاری های سطحی و پارازیت ها را از بی هنجاری های عمیق تر جدا نماید. روش گسترش رو به بالا فرآیندی است که درآن داده های میدان پتانسیل(در این حالت قرائت مغناطیسی) از یک سطح مشاهده ای به طریق ریاضی فراسو بر روی سطوح مبنای بالاتر تصویر می شوند. هرگاه یک سری داده های مغناطیسی مؤلفه $Z\ (X',Y')$ بر روی یک سطح بی نظم (X',Y') $Z = h$وجود داشته باشد و در نظر باشد که هم ارز آن بر روی صفحه در بالای h مثلا $Z=0$ محاسبه شود به طوری که Z به طرف پائین مثبت باشد، آنگاه این مساله در فیزیک ریاضی به نام دیریچله (Dirichlet) معروف است با کاربرد قضیه گرین (Greens theorem) حل می شود (Milson, 1987).

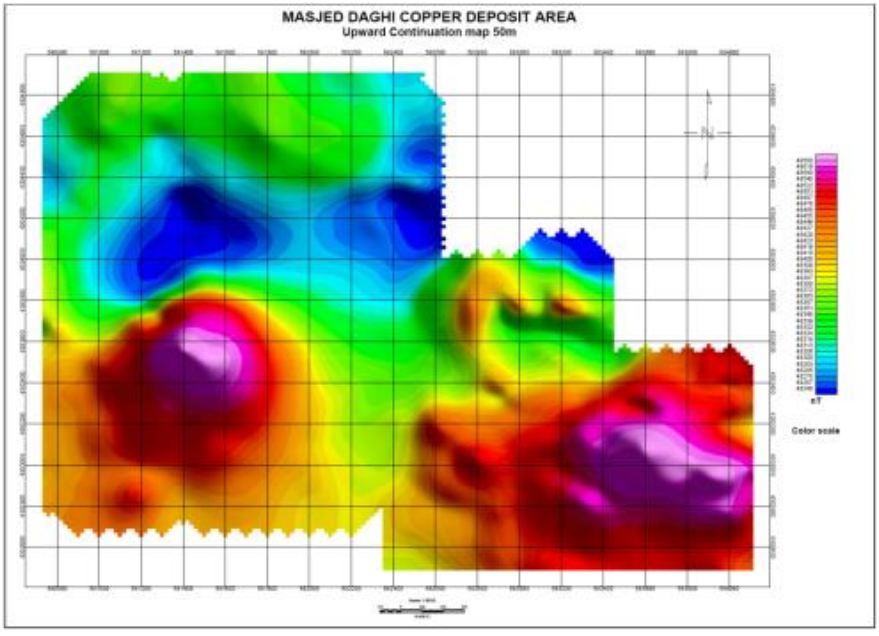
گسترش رو به بالای داده های خام مغناطیسی محدوده مسجد داغی در سه ارتفاع ۵۰ ، ۱۰۰ و ۱۵۰ متری توسط نرم افزار Oasis montaj انجام شده است. در این روش بر خلاف مشتق دوم ، اثر بی هنجاری های ناشی از پدیده های سطحی تضعیف شده و بی هنجاری های عمیق تر (با طول موج بالا) به طور شاخص نشان داده می شوند. گسترش به سمت بالا در ارتفاع ۵۰ متری باعث هموارتر شدن خطوط هم میزان نسبت به نقشه شدت کل میدان مغناطیسی شده است(شکل۱۱) که این مطلب گویای ریشه دار بودن بی هنجاری ها و هم چنین گسترش طولی و عرضی و پیوستگی آن ها نسبت به توده های سطحی می باشد. این پدیده در نقشه های در ارتفاعات ۱۰۰ و ۱۵۰ متری نمایان تر می شود (شکل های۱۲ و ۱۳). هموارتر شدن خطوط هم میزان در نقشه شکل۱۳ با وضوح بیشتری قابل رویت بوده و با بررسی این سه نقشه به خوبی می توان روند عوامل ایجاد کننده بی هنجاری های مغناطیسی عمیق را دنبال کرد. از بررسی هر سه نقشه گسترش رو به بالا ملاحظه می شود که روند توده های مغناطیسی منطبق بر روند دگرسانی پتاسیک در محدوده است. بی هنجاری های به وجود آمده توسط توده های سطحی و عوامل پارازیتی که در نقشه شدت کل میدان مغناطیسی و مشتق دوم وجود دارند، در این نقشه ها حذف گردیده اند.



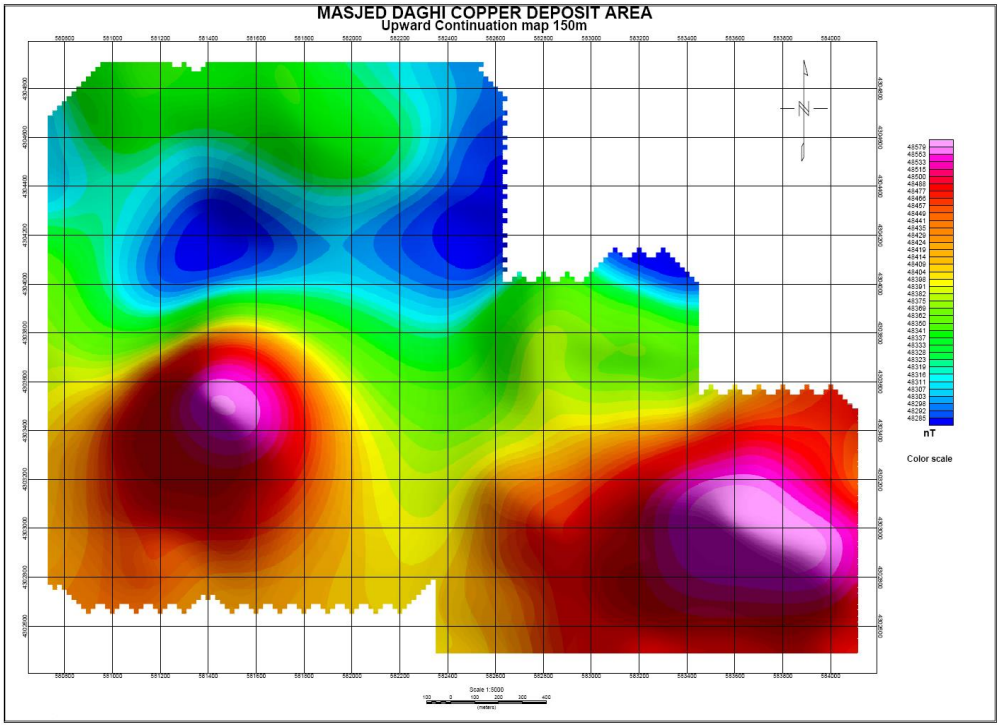
شکل ۱۰. نقشه مشتق دوم داده های مغناطیسی در محدوده مورد مطالعه



شکل ۱۱. نقشه گسترش رو به بالای داده های مغناطیسی در ارتفاع ۵۰ متر



شکل ۱۲. نقشه گسترش رو به بالای داده های مغناطیسی در ارتفاع ۱۰۰ متر



شکل ۱۳. نقشه گسترش رو به بالای داده های مغناطیسی در ارتفاع ۱۵۰ متر

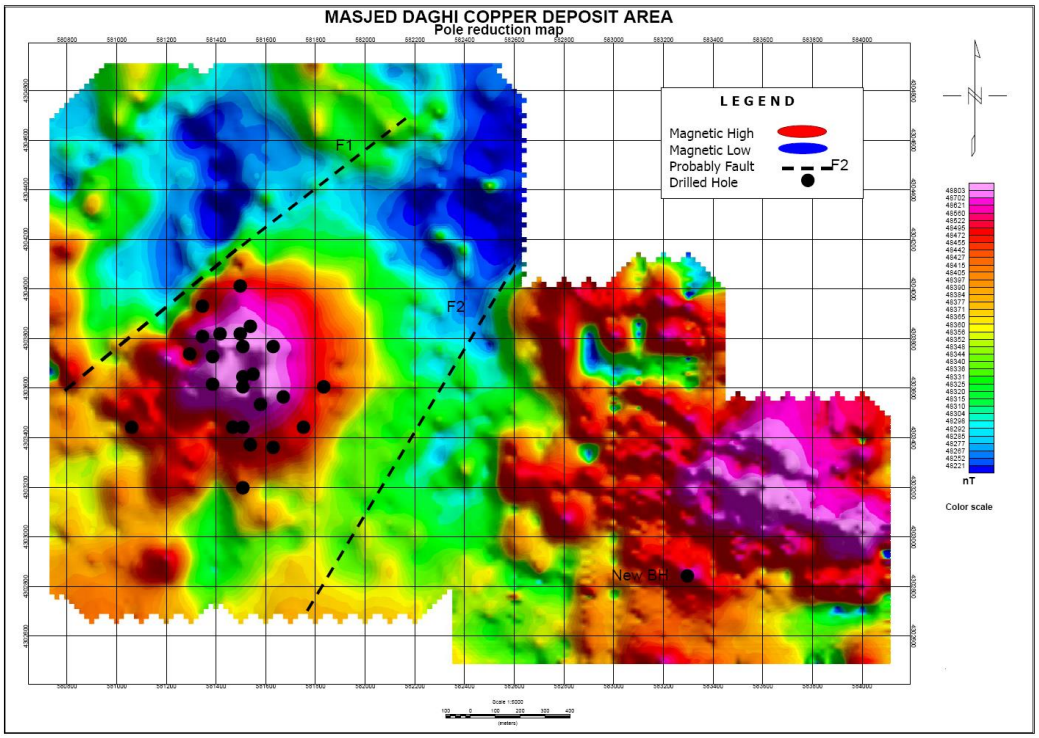
تفسیر نقشه برگردان به قطب

برگردان به قطب آنومالی های مغناطیسی یک روش کمکی برای سادگی در تفسیر نقشه های مغناطیسی است. بررسی نتایج بسیار مشکل تر از مطالعه نقشه های گرانی سنجی است. در حقیقت در گرانی سنجی ارتباط ساده ای بین عامل و اثر یا به عبارت دیگر بین زمین شناسی و آنومالی باقیمانده که به صورت قائم بر روی سنگ های با چگالی کم و زیاد مشاهده می شود، وجود دارد. در مغناطیس سنجی شکل آنومالی ها بسیار پیچیده تر می باشد، زیرا به جای جاذبه گرانی که همیشه قائم است با یک بردار مغناطیس شدگی که معمولا مایل است، رو به رو هستیم . اگر میدان کل که مایل است، اندازه گیری شود به این میزان آنومالی یک سری منابع انحرافی نیز افزوده می شود. اثرات این انحراف به تمایل مغناطیس شدگی اضافه می گردد. بدین علت به محاسبه شبه آنومالی های که توسط اجسام مغناطیسی مشابه با دو فرض مغناطیس شدگی قائم و میدان القایی طبیعی قائم که در قطب های مغناطیسی می تواند به وجود آیند ، روش برگردان به قطب داده های مغناطیسی گویند.

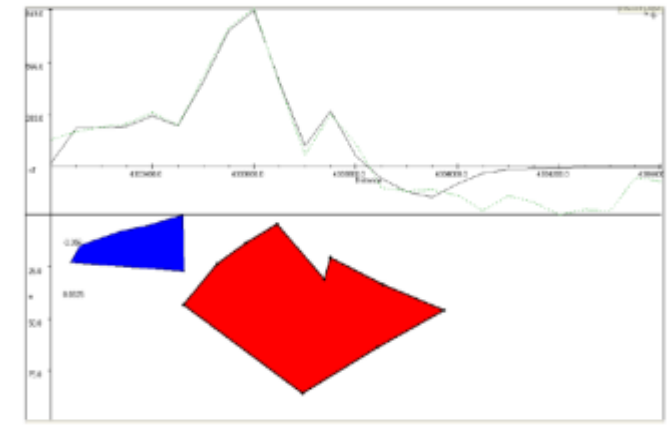
مقایسه نقشه برگردان به قطب (شکل ۱۴) و شدت کل میدان مغناطیسی نشان می دهد که بی هنجاری ها در حالت انتقال به قطب ضمن این که جا به جا شده اند، نظم بیش تری نیز پیدا کرده و روند واقعی ساختارهای زیر سطحی را مشخص می کنند. بی هنجاری های موجود در نقشه شدت کل میدان، در نقشه برگردان به قطب نیز وجود دارند اما دو قطبی های مغناطیسی، در امتداد واقعی خود قرار گرفته اند. این مسئله در تطابق بی هنجاری ها با منابع زیر سطحی حائز اهمیت می باشد.

مدل سازی بی هنجاری مغناطیسی

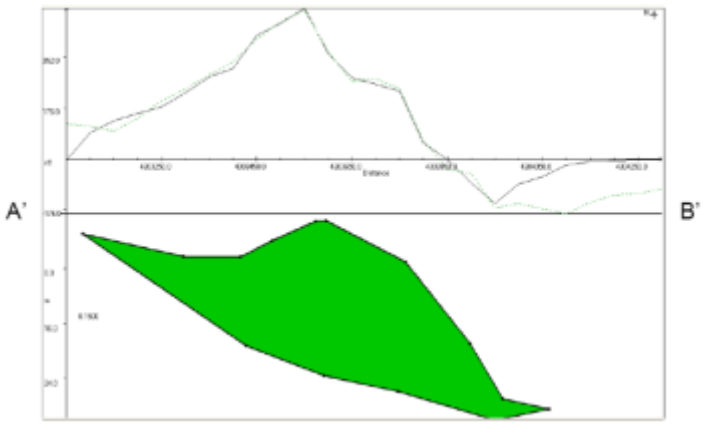
مدل سازی بی هنجاری مغناطیسی در دو مقطع مختلف بر روی راستاهای موازی شمالی-جنوبی توسط نرم افزار Geometrics انجام گرفته است. بر اساس این مدل سازی شیب توده ی معدنی به طرف شمال و ضخامت احتمالی آن در حدود ۶۰۰ – ۸۰۰ متر پیش بینی می شود (شکل های۱۵ و ۱۶). از نظر زمین شناسی، وجود همبری گسله بین توده ی نفوذی کانه دار با سنگ های فیلیشی ائوسن در بخش جنوبی خود محتمل است و می تواند سبب پیدایش چنین الگویی در مدل بی هنجاری مغناطیسی باشد، اگر چه همبری این توده با سنگ درونگیر آندزیتی خود در راستای خاوری – باختری به صورت دیواره های پرشیب به سوی پایین می باشد.



شکل۱۴.نقشه برگردان به قطب داده های مغناطیسی در کانسار مس مسجد داغی و موقعیت نقاط پیشنهادی برای حفاری (دایره توپر)



شکل ۱۵. مدل سازی بی هنجاری مغناطیسی روی مقطع



شکل ۱۶. مدل سازی بی هنجاری مغناطیسی روی مقطع B′A′

نتیجه گیری

کانی سازی مس- طلای پورفیری در ناحیه ی مسجدداغی در یک مجموعه آتشفشانی- نفوذی روی داده است. کانی سازی حالت استوک ورک و افشان داشته و هم در استوک دیوریت پورفیری و هم در واحد آندزیتی درون گیر آن روی داده است، ولی پیکره ی اصلی توده معدنی در دیوریت پورفیری است. دگرسانی پتاسیک، کانی سازی پورفیری را همراهی می کند. از نظر کانی شناسی ، این دگرسانی از کانی های فلدسپار پتاسیم ثانویه، کوارتز، بیوتیت ثانویه و مگنتیت همراه با کانی های سولفیدی پیریت، کالکوپیریت و بورنیت تشکیل شده است که به صورت رگه های کوارتز- مگنتیت- سولفید و کوارتز- سولفید حضور دارند. در گمانه های اکتشافی اولیه مشخص شد که مگنتیت با بافت رگچه ای و افشان در زون پتاسیک حضور دارد، از این رو به منظور مدل سازی اکتشافی کانسار و تعیین موقعیت عمقی زون پتاسیک (و توده معدنی)، اقدام به برداشت های مغناطیس سنجی شد. بررسی نقشه های شدت کل میدان مغناطیسی، مشتق دوم، گسترش رو به بالا و برگردان به قطب، و مقایسه ی آن با شواهد زمین شناسی و اطلاعات به دست آمده از حفاری های اکتشافی نشان داد که بی هنجاری های مغناطیسی به طور چشم گیری بر زون پتاسیک سیستم کانی سازی انطباق دارد، نظر به این که زون دگرسانی پتاسیک در سطح زمین گسترش ندارد (تنها یک رخنمون بسیار کوچک در شمال آبراهه آرپاچای دیده می شود)، از این رو می توان محدوده زونارهای مغناطیسی را به عنوان مناسبت ترین محدوده برای انجام عملیات اکتشافی (حفاری) در نظر گرفت. نتایج به دست آمده از این پژوهش، کاربرد روش ژئوفیزیکی مغناطیس سنجی را در اکتشاف کانسارهای مس پورفیری نوع دیوریتی تایید می کند.

تشکر و قدردانی

در این جا شایسته است از شرکت ملی صنایع مس ایران به ویژه جناب آقای مهندس اصفهانی پور (سرپرست محترم امور اکتشافات) به خاطر در اختیار گذاشتن برخی از داده های مربوط به محدوده کانسار مس مسجدداغی و امکان استفاده آن ها در ارائه این مقاله و کارشناسان شرکت مهندسین مشاور صمان کاو تشکر و قدردانی شود.

منابع

قربانی، م.، ۱۳۸۶، زمین شناسی اقتصادی ذخایر معدنی و منابع طبیعی ایران، جلد دوم، انتشارات آرین زمین، تهران.

فرد، م.، علی اکبری، ح.، محمدی، ب. و سمایی، س.، ۱۳۸۵، گزارش نقشه زمین شناسی ۱/۱۰۰۰ و حفاری های انجام گرفته در منطقه مسجدداغی (سیه رود جلفا) ، پروژه اکتشاف مس و طلا در زون ارسباران ، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

اکبرپور، ا.، ۱۳۸۴، زمین شناسی اقتصادی ناحیه کیامکی با نگرشی ویژه بر کانی سازی طلا و مس (مسجدداغی جلفا)، رساله دکتری دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، تهران.

شرکت مهندسین مشاور صمان کاو،۱۳۸۵، گزارش مطالعات ژئوفیزیک کانسار مس مسجدداغی (جلفا) ، پروژه شرکت ملی صنایع مس ایران.

عبدلی اسلاملو، ح.، بررسی ژئوشیمی، دگرسانی و منشاء کانی سازی طلا در منطقه سیه رود استان آذربایجان شرقی، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه پیام نور، مرکز تبریز،۱۳۸۸.

امامعلی پور، ع.، عبدلی اسلاملو، ح.، و حاج علیلو، بهزاد: بررسی ژئوشیمی دگرسانی های گرمابی مرتبط با کانی سازی طلای اپی ترمالی در ناحیه مسجدداغی،شرق جلفا، شمال باختر ایران، مجله زمین شناسی اقتصادی، سال ۱۳۸۹، شماره۲، جلد۳، صفحه ۱۹۹-۲۱۳.

Gustafson, L.B., and Hunt, J.P., 1975, The porphyry copper deposit at El Salvador, Chil: Economic Geology, v. 70, p. 857-912.

Corbett, G., 2009 : Anatomy of porphyry-related Au-Cu-Ag-Mo mineralized systems: Some exploration implications, in: Australian institute of geoscientists north Queensland exploration conference June 2009.

Sillitoe, R. H., 1993, Gold rich porphyry copper deposits: Geological model and exploration implications, in Kirkham, R. V., Sinclair, W. D., Thorpe, R. I. and Duke, J. M., (eds.): Mineral Deposit Modelling, Geological Association of Canada, p. 465-478.

Evans, A. M., 1993, An introduction to ore geology and industrial minerals , Blackwell scien pub. , 390 pp.

Telford, W. M., Geldart, L. P. and Sheriff, R. E., 1990: Applied geophysics, Cambridge university press, 770 p.

Milson, J., 1987, Applied Geophysics, Mir pub.