



## کانی‌سازی و تفسیر داده‌های ژئوفیزیک به روش IP/RS در منطقه‌ی طلا-آنتیموان حسن آباد، شمال شرق ایران

زهرا اعلمی نیا\*، محمدحسن کریم‌پور، محمدرضا حیدریان شهری، سید مسعود همام

مشهد، دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده علوم پایه، گروه پژوهشی اکتشاف ذخایر معدنی شرق ایران

(دریافت مقاله: ۸۸/۱۲/۱۵، نسخه نهایی: ۸۹/۴/۱۵)

**چکیده:** منطقه‌ی پی جویی طلا-آنتیموان حسن‌آباد در شمال استان خراسان رضوی و ۴۵ کیلومتری جنوب نیشابور واقع شده است. سنگ‌های آتشفشانی (ریولیت، ریوداسیت، تراکی‌آندزیت و آندزیت بازالت) و توده‌های نفوذی نیمه عمیق (ائوسن-الیگوسن) شامل بیوتیت دیوریت پورفیری، بیوتیت هورنبلند دیوریت پورفیری، هورنبلند مونزونیت پورفیری، بیوتیت میکروگرانیت، گرانیت، میکرو-گرانودیوریت و گرانودیوریت در منطقه شناسایی شدند. زون‌های دگرسانی که در سطح و در گمانه‌ها شناسایی شدند عبارتند از: (۱) زون آرژلیک، (۲) زون سرسیت-کوارتز و پیریت، (۳) زون کربنات، (۴) زون پروپیلیتیک و (۵) زون سیلیسی. کانی‌زایی در سطح بیشتر به صورت رگه‌ای و گاهی رگچه‌ای، افشان و برشی دیده می‌شوند. هشت گمانه‌ی پی‌جویی در این گستره حفاری شدند. شبه مقاطع IP/RS، در سه نیمرخ صفر، ۱۵۰W، ۳۰۰W با استفاده از بررسی‌های مغزه‌های حفاری تفسیر شده‌اند. نیمرخ صفر در بخش جنوب شرقی رگه‌ی طلا-آنتیموان بی‌هنجاری بارپذیری با مقدار بیش از ۲۵ میلی‌ثانیه دارد که کوچکتر از نیمرخ ۱۵۰W بوده و در عمق بیشتری قرار دارد. در نیمرخ ۱۵۰W زون بی‌هنجاری با گسترش شمال شرقی جنوب غربی به بیش از ۵۰ میلی‌ثانیه رسیده و بیشترین مقدار را در مرکز رگه‌ی اصلی داشته و با گسل قطع شده است. بی‌هنجاری بارپذیری به سمت شمال غربی اصلی طلا-آنتیموان ادامه دارد و در نیمرخ ۳۰۰W بصورت سه بی‌هنجاری ناپیوسته و کوچک دیده می‌شوند. بارپذیری بالا در هر سه شبه مقطع و گسترش زون بی‌هنجاری در آنها، موید حضور مواد رسانای سولفیدی بوده و با نتایج کانی‌سازی‌های مشاهده شده در گمانه‌ها همخوانی دارند. افزایش مقاومت ویژه الکتریکی در نیمرخ ۱۵۰W با توده‌ی شبه آتشفشانی کوارتز مونزودیوریت پورفیری وابسته است که در گمانه‌ها مشاهده شده و به نظر می‌رسد سن آن جوانتر از گرانیت‌هاست. مشاهده‌ی میلیونیت در گمانه‌ها و گسستگی بی‌هنجاری موید گسلی است که پیش از ایجاد کانی‌سازی توانسته توده‌ی شبه آتشفشانی کوارتز مونزودیوریت پورفیری را میلیونیتی کند. بررسی‌های تفصیلی زمین‌شناسی، دگرسانی و کانی‌سازی سطحی و زیر سطحی گمانه‌ها برآزش خوبی با بی‌هنجاری‌های IP/RS دارد و آن را تایید می‌کند. لذا می‌توان پیش‌بینی کرد که در بخش شمال شرقی نیمرخ ۱۵۰W، جائیکه کانی‌سازی در سطح دیده نمی‌شود ولی در عمق گسترش خوبی دارد، و بهتر است در حد فاصل ایستگاه ۲۰۰ و ۴۴۰ شمالی دو گمانه حفاری شود.

**واژه‌های کلیدی:** آنتیموان، قطبش القائی، مقاومت ویژه الکتریکی، کانی‌سازی سولفیدی، دگرسانی.

### مقدمه

IP/RS انجام شد (آرشیو گزارش‌های ژئوفیزیک سازمان زمین شناسی ایران). در سطح جهانی نمونه‌های فراوانی از استفاده IP/RS در فهرست مجلات SEG و ASEG می‌توان

اولین بررسی‌های IP/RS در ایران به سال ۱۹۴۶ بر می‌گردد، و تقریباً روی تمامی معادن فلزی شناخته شده ایران روش

\* نویسنده مسئول، تلفن-نمابر: ۸۷۹۷۲۷۵ (۰۵۱۱)، پست الکترونیکی: Alaminia\_Geo@yahoo.com

یافت [۹-۱].

در بیشتر یافته‌های جدید، ژئوفیزیک نقش موثری در پی-جویی و نمایش ذخایر پنهان در عمق دارد [۱۰]. با به‌کارگیری و تفسیر داده‌های ژئوفیزیک همراه با اطلاعات زمین‌شناسی، کانی‌سازی، دگرسانی و ژئوشیمی می‌توان نقاط مناسب برای حفاری را پیشنهاد کرد و سپس با پیوند این اطلاعات، عمق، شکل و اندازه‌ی ذخیره‌ی کانسار را ارزیابی و برآورد کرد.

منطقه‌ی اکتشافی طلا- آنتیموان حسن‌آباد در ۴۵ کیلومتری جنوب نیشابور و در پنج کیلومتری جنوب شرقی روستای ارغش (استان خراسان رضوی) و در گستره‌ی بین طول‌های جغرافیایی  $58^{\circ}36'$  تا  $58^{\circ}37'$  و عرض‌های جغرافیایی  $35^{\circ}50'$  تا  $35^{\circ}51'$  قرار دارد (شکل ۱). برای اولین بار در سال ۱۳۷۳ براساس بررسی‌های ژئوشیمیایی ناحیه‌ای که در شمال شرقی ایران در زون کانسارزایی سمنان تربت‌حیدریه در چارگوش ۱:۱۰۰۰۰۰ نقشه‌کدن انجام گرفته به عنوان پتانسیل‌های طلا و آنتیموان ارغش معرفی شده است [۱۱]. گستره‌ی بی‌هنجاری ۲۵ کیلومتر مربع بوده که شامل پنج گستره‌ی طلادار (Au I تا Au V) و یک گستره‌ی آنتیموان (Sb) است (شکل ۱). در جنوب منطقه‌ی اکتشافی ارغش در

گستره‌ای به وسعت تقریباً ۰/۵ کیلومتر مربع، یک رگه‌ی اصلی کوارتز طلا- آنتیموان همراه با چند رگه‌ی فرعی وجود دارند. بیشترین شدت دگرسانی در اطراف این رگه دیده می‌شود.

با توجه به شواهد زیر، بررسی ژئوفیزیکی قطبش القایی و مقاومت‌سنجی در ذخیره‌ی طلا- آنتیموان حسن‌آباد برای پی-جویی بخش‌های پنهان کانی‌سازی مناسب است:

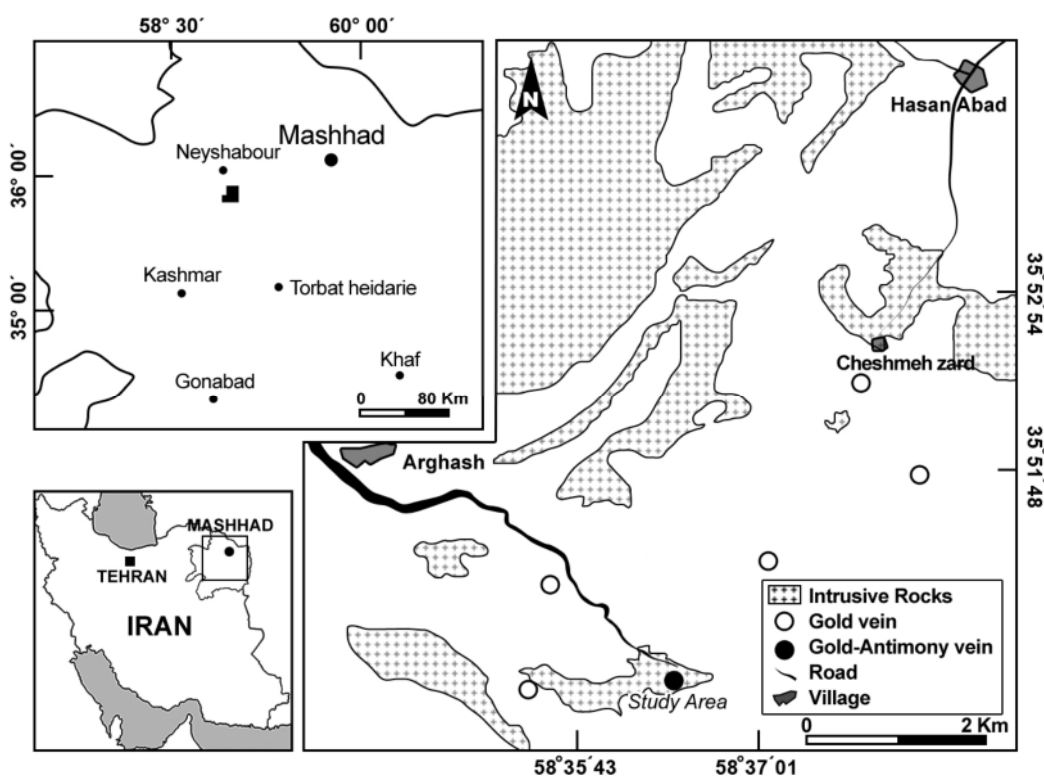
۱- کانی سولفیدی پیریت به مقدار فراوان در قالب رگچه‌های متعدد و یا به‌شکل پراکنده و افشان دیده شد که می‌تواند باعث تشکیل بی‌هنجاری در قطبش القایی شود؛

۲- شدت دگرسانی در منطقه بسیار بالاست و این باعث کاهش مقاومت ویژه‌ی سنگ‌ها می‌شود؛

۳- توده‌های نفوذی پنهان که می‌توانند سبب تغییرات مقاومت ویژه‌ی سنگ‌ها شوند؛

۴- مناطق بُرشی، شکستگی‌های پی‌سنگی و گسل‌ها براحتی با تغییرات ناگهانی مقاومت ویژه‌ی سنگ‌ها شناسایی می‌شوند.

در این پژوهش داده‌های ژئوفیزیکی، IP/RS، با استفاده از اطلاعات زمین‌شناسی، دگرسانی، کانی‌سازی و ژئوشیمی به دست آمده از مغزه‌های حفاری مورد تفسیر قرار گرفته و محل-های مناسب برای حفاری پیشنهاد شده‌اند.



شکل ۱ موقعیت جغرافیایی طلا- آنتیموان حسن‌آباد نسبت به رگه‌های طلا در منطقه اکتشافی ارغش.

**روش بررسی**

برای پی‌جویی بخش‌های پنهان کانی‌سازی، بررسی‌های زیر در گستره‌ی منطقه‌ی مورد بررسی انجام شده‌اند:

۱- بررسی ۱۴۰ مقطع نازک، ۲۰ نازک صیقلی و ۵۳ بلوک صیقلی از نمونه‌های سطحی و زیرسطحی.

۲- تهیه‌ی نقشه زمین‌شناسی رقومی منطقه‌ی اکتشافی طلا- آنتیموان با مقیاس ۱:۲۰۰۰.

۳- تهیه‌ی نقشه دگرسانی رقومی منطقه‌ی اکتشافی طلا- آنتیموان با مقیاس ۱:۲۰۰۰.

۴- بررسی جمعاً ۶۷۹ متر مغزه از هشت گمانه‌ی حفر شده.

۵- تفسیر داده‌های IP/RS با استفاده از بررسی‌های تفصیلی زمین‌شناسی، دگرسانی، کانی‌سازی و ژئوشیمی سطحی و زیرسطحی گمانه‌های اکتشافی.

**زمین‌شناسی ناحیه‌ای**

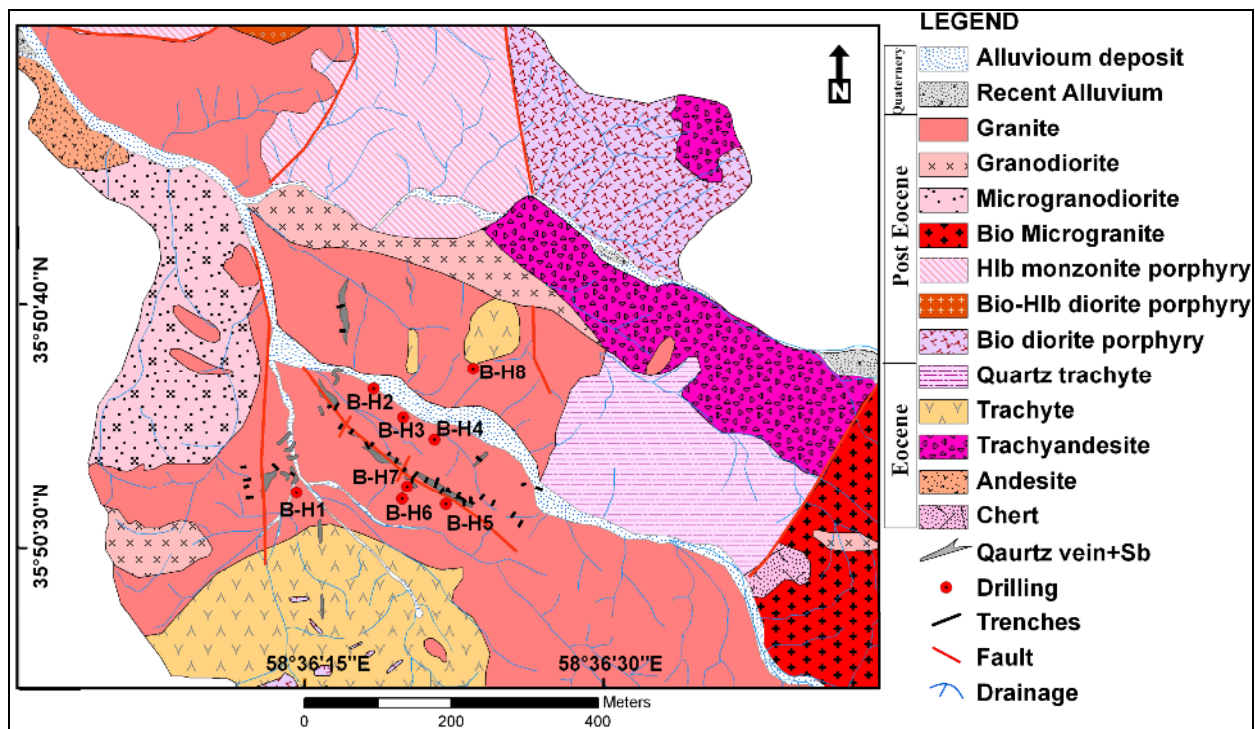
منطقه‌ی مورد بررسی به لحاظ تقسیم‌بندی زمین‌شناسی ایران، در بخش شمالی خرد قاره‌ی ایران مرکزی واقع شده است. خرد قاره‌ی ایران مرکزی بخشی از ایران میانی است که با زمین- درزهای افیولیتی سیستان، نائین، بافت، گسل درونه و افیولیت‌های کاشمر سبزوار در بر گرفته شده است و با گسل‌های طولی که به سمت غرب خمیدگی دارند و از نوع راستا لغز راستگردند از جمله به بلوک لوت، فرازمین شتری، بلوک طیس، فرازمین کلمرد، بلوک پشته بادام قابل تقسیم است [۱۲]. وجود فعالیت گسترده‌ی ماگمایی با ویژگی‌های متفاوت ژئوشیمیایی باعث شده است تا این ناحیه پتانسیل مناسبی برای تشکیل انواع کانی‌های فلزی و غیر فلزی داشته باشد.

**زمین‌شناسی محلی**

گستره‌ی اکتشافی حسن‌آباد در غرب نقشه‌ی زمین‌شناسی کدکن با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ قرار دارد [۱۳]. قدیمی‌ترین سنگ‌های موجود در گستره‌ی حسن‌آباد- ارغش افیولیت‌های کرتاسه بالایی هستند. سنگ‌های آتشفشانی در ائوسن پائینی با تشکیل سنگ‌های تراکی‌آندزیت، آندزیت بازالت و گدازه‌های ریوداسیت آغاز شده است. مجموعه سنگ‌های ائوسن پائینی، با سنگ‌های پیروکلاستیک به سن ائوسن میانی، که شامل توف و ماسه‌سنگ توفی و با مقادیر کمی ماسه‌سنگ، سنگ آهک نومولیتی و کنگلومرا، پوشیده شده‌اند [۱۴]. مراحل پایانی فعالیت‌های آتشفشانی در ائوسن بالایی با خروج تراکی‌آندزیت

پورفیری، کوارتز تراکی‌آندزیت، آندزیت و ریولیت خاتمه یافته است. توده‌های گرانیت، گرانودیوریت و دیوریت به سن ائوسن بالایی- اولیگوسن سنگ‌های آتشفشانی را قطع می‌کنند [۱۵].

براساس بررسی‌های صحرایی و آزمایشگاهی ۷ توده‌ی نفوذی نیمه عمیق در سطح شناسایی شده‌اند که عبارتند از بیوتیت دیوریت پورفیری، بیوتیت هورنبلند دیوریت پورفیری، هورنبلند مونزونیت پورفیری، بیوتیت گرانیت ریز دانه‌ای، گرانیت، گرانودیوریت و گرانودیوریت ریز دانه‌ای (شکل ۲). توده- ی گرانیتی بیشترین گسترش را در سطح دارد. گرانیت سنگ دیواره‌ی رگه‌ی کوارتز طلا- آنتیموان‌دار بوده و در اطراف رگه به شدت دگرسان شده است. براساس آگاهی‌های IP/RS، هشت گمانه پی‌جویی در واحد گرانیت حفاری شده‌اند [۱۶]. موقعیت گمانه‌ها در نقشه نشان داده شده است (شکل ۲). علاوه بر توده‌های نفوذی مشاهده شده در سطح، در گمانه‌ها چندین توده شناسایی شد که شامل کوارتز مونزودیوریت پورفیری، کوارتز دیوریت پورفیری، میکرو مونزودیوریت، میکرو کوارتز بیوتیت دیوریت، میکرو دیوریت، بیوتیت گرانیت، هورنبلند گرانیت و میکرو گرانیت هستند که بصورت دایک و استوک در گمانه‌ها دیده شده‌اند. با توجه به تقدم و تاخر نفوذ توده‌ها که در مغزه‌ها به‌خوبی قابل مشاهده است، قدیمی‌ترین واحد، گرانیت است. توده‌ی نیمه‌نفوذی کوارتز مونزودیوریت پورفیری جوانتر از گرانیت‌ها به‌نظر می‌رسد. این توده در گمانه- های B-H2، B-H3، B-H4، B-H6، B-H7، از عمق ۵۷ متری تا انتهای گمانه دیده می‌شود. کوارتز مونزودیوریت پورفیری در گمانه B-H8 در عمق ۲ تا ۱۴ متر مشاهده می‌شود و در گمانه‌های B-H5 و B-H1 دیده نمی‌شود. بیشترین کانی‌زایی سولفیدی در توده‌ی نیمه نفوذی کوارتز مونزودیوریت پورفیری وجود دارد. بیشترین میزان طلا در این توده و در گمانه‌های B-H4 و B-H7 به میزان ۸۵۰ و ۶۰۰ پی‌پی‌بی دیده می‌شود. توده‌های دیوریتی به صورت دایک در گرانیت‌ها نفوذ کرده است. برش زمین‌ساختی با زمینه‌ی سیلیسی کربناتی با گسترش زیادی در گمانه‌ی B-H8 وجود دارد. توده- های نیمه نفوذی و نفوذی که در گمانه‌ها دیده می‌شوند در برش زمین‌ساختی به صورت قطعات زاویه‌دار و جور نشده وجود دارند، و به‌نظر می‌رسد که برش زمین‌ساختی جوانتر است.



شکل ۲ نقشه ی زمین شناسی گستره ی طلا- آنتیموان حسن آباد.

### دگرسانی

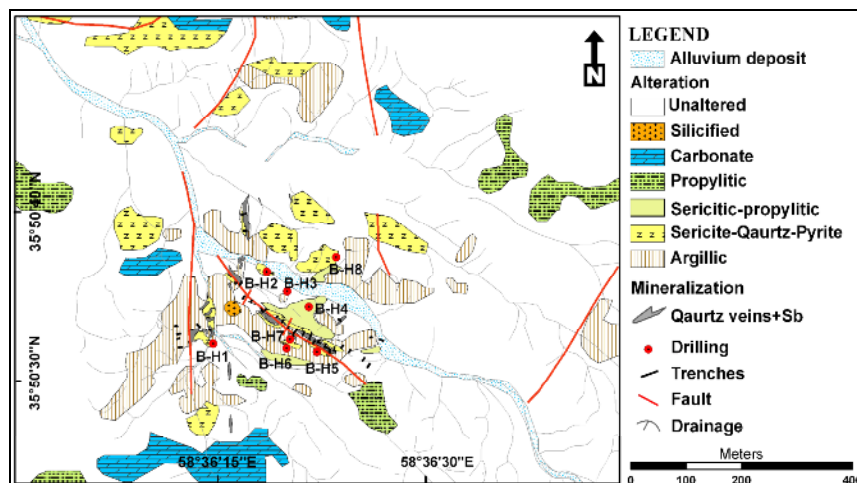
براساس بررسی های صحرایی و آزمایشگاهی ۵ نوع دگرسانی در سطح شناسایی شده اند که عبارتند از: (۱) زون آرژلیک، (۲) زون سرسیت- کوارتز و پیریت، (۳) زون کربنات، (۴) زون پروپیلیتیک و (۵) زون سیلیسی (شکل ۳).

دگرسانی غالب در منطقه از نوع آرژلیکی بوده که پهنه ی بزرگی از مرکز منطقه را در بر گرفته است. این دگرسانی بیشتر در سنگ های گرانیت و هورنبلند مونزونیت پورفیری دیده می شود. این زون در سطح زمین سفید رنگ است، و در حاشیه ی رگه بیشترین شدت را داشته و به صورت آرژلیک پیشرفته دیده می شود. مهم ترین کانی این زون کانی رسی است که از دگرسانی فلدسپات قلیایی بوجود آمده است. بیوتیت به رنگ سبز و درصد کمی کانی سرسیت نیز در سنگ دیده می شود. انباشته های کوچکی از کوارتز ریز بلور ثانویه نیز در متن سنگ وجود دارند.

دگرسانی سرسیت- کوارتز و پیریت بیشتر در مرکز و بخش های شمالی و در میان توده های نیمه نفوذی دیده می شوند (شکل ۳). این زون در صحرا به رنگ زرد متمایل به قهوه ای است که حاصل اکسایش کانی های سولفیدی موجود در سنگ است. شدت این دگرسانی در بخش های مختلف متفاوت بوده و

نزدیک رگه بیشترین شدت را دارد. مهم ترین کانی های این زون سرسیت و کوارتز است. سرسیت ثانویه حاصل دگرسانی فلدسپات ها و بیوتیت است. مقدار آن در سنگ از ۵ تا ۲۰ درصد متغیر است. کوارتز به دو صورت انباشته های ثانویه در متن سنگ و به صورت رگچه دیده می شود. مقدار کوارتز ثانویه ۳ درصد تا ۲۵ درصد تغییر می کند. پیریت مهم ترین کانی سولفیدی این زون است که بلورهای خود شکل به صورت پراکنده در متن سنگ و یا در رگچه ظاهر شده است. رگچه های مهم این زون عبارتند از رگچه های کوارتز، کوارتز + پیریت و کربنات + اکسید آهن ثانویه ضخامت رگچه ها از ۰/۵ میلی متر تا ۱۰ میلی متر تغییر می کند.

زون کربناتی در اطراف زون های سرسیتیک و آرژلیک قرار دارد (شکل ۳). در این زون فلدسپات ها به کربنات ثانویه تبدیل شده اند. میزان کربنات ثانویه از ۲ تا ۱۵ درصد تغییر می کند. کربنات به صورت لکه هایی و روی فلدسپات ها دیده می شود. کانی فرومنیزین به کربنات و اندکی کلریت تبدیل شده است. کانی های ثانویه موجود در این زون شامل کربنات، جزئی سرسیت و کلریت است. رگچه های موجود در این زون از نوع کربنات و کربنات + کوارتز است.



شکل ۳ نقشه ی دگرسانی گستره ی طلا- آنتیموان حسن آباد.

پروپیلیتیک در گمانه‌های B-H6 و B-H8 شکل گرفته است. البته گمانه‌ی B-H6 در عمق به دگرسانی کوارتز، سرسیت و پیریت تبدیل می‌شود. بیشترین گستردگی دگرسانی کربنات در گمانه‌ی B-H8 دیده می‌شود.

#### کانی‌زایی و ژئوشیمی

کانی‌زایی در سطح بیشتر به صورت رگه‌ای و گاهی رگچه‌ای، افشان و برشی دیده می‌شود. در سطح مهم‌ترین کانی‌زایی همراه رگه‌ی سیلیسی استیبنیت است که به صورت انبوهه‌های شعاعی و سوزنی بوده و با چشم غیر مسلح دیده می‌شود. کانی استیبنیت به صورت عدسی و نوارهای استیبنیت با ضخامت ۱ تا ۱۰ سانتی‌متر در یک رگه‌ی سیلیسی با طول حدود ۷۵۰ متر و پهنای کمتر از یک تا ۵ متر در راستای گسلی در گرانیته و به طور فرعی در تراکیت قرار دارد [۱۶]. کانی‌زایی سولفیدی همراه رگه‌ی کوارتز شامل پیریت، کالکوزیت، کولیت و سینابر است که به صورت رگچه و افشان دیده می‌شود. بیشتر کانی‌های سولفیدی در سطح اکسید شده و به اکسیدهای آهن ثانویه مانند هماتیت، گوتیت و ژاروسیت تبدیل شده‌اند. بخش مهم کانی‌سازی در زون سیلیسی و زون کوارتز- سرسیت و پیریت دیده می‌شود.

گسترش کانی‌سازی سیلیسی سولفیدی در گمانه‌های B-H1 و B-H2 در زون پروپیلیتیک در عمق بیش از ۳۰ متر با تراکم ۸ تا ۱۹ رگچه در متر با عرض ۱ تا ۳ میلی‌متر است. تراکم رگچه‌ها در گمانه‌ی B-H2 بیشتر است. تراکم رگچه‌ها در B-H3 کمتر شده و به ۹ رگچه در متر می‌رسد، ولی عرض آن در حدود ۶ میلی‌متر است. بیشترین کانی‌سازی هایپوژن در گمانه‌های B-H3 و B-H4 در زون کوارتز- سرسیت و پیریت و در عمق بیش از ۵۰ متر به شکل رگچه و با زاویه‌ی ۴۵ درجه،

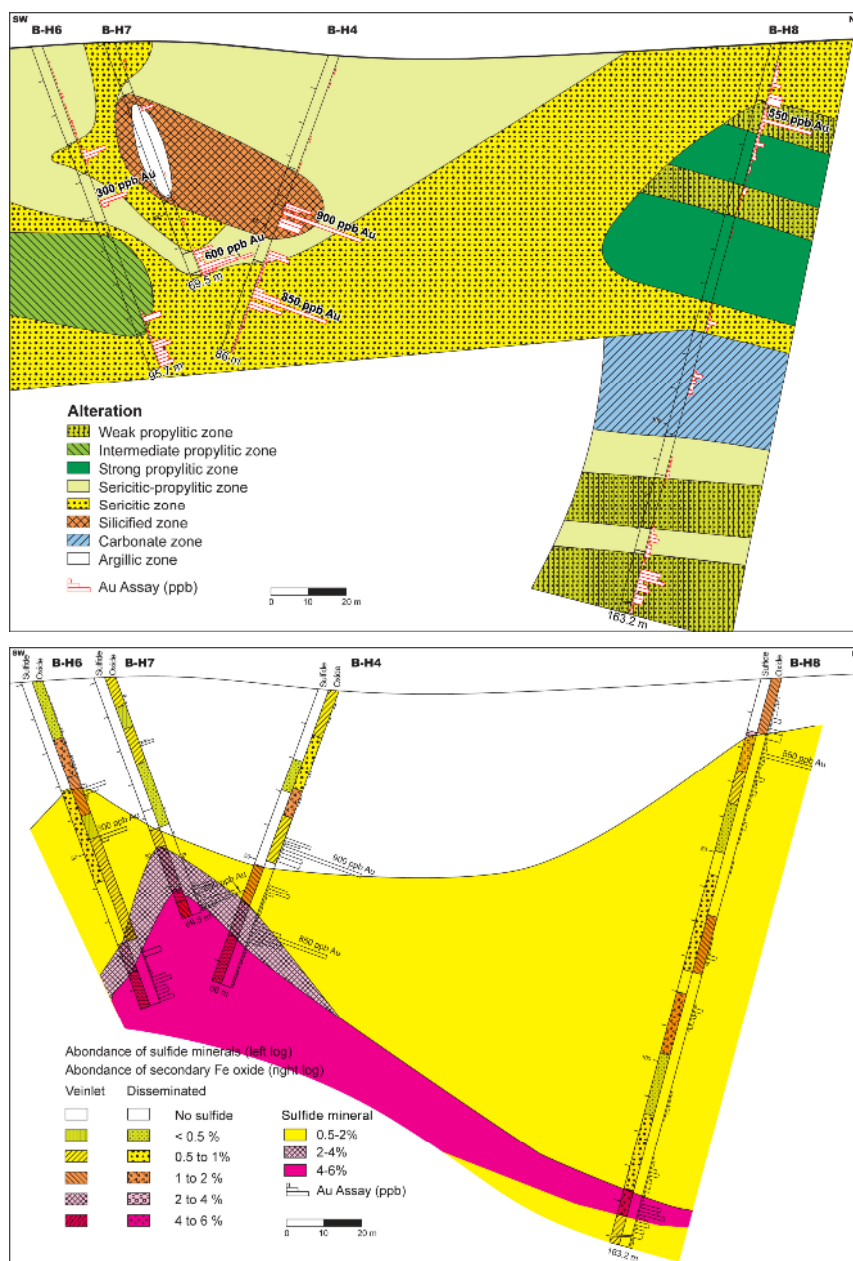
زون سیلیسی به صورت رخنمون بسیار کوچکی در برخوردگاه رگه‌های طلا- آنتیموان، در سنگ‌های گرانیته دیده می‌شود (شکل ۳). شدت دگرسانی بالاست، به طوری که تنها کوارتزهای اولیه سنگ که گرد شده و حاشیه دارند قابل تشخیص‌اند. زمینه کاملاً سیلیسی شده است و مقدار جزئی سرسیت نیز دیده می‌شود. رگچه‌ها شامل کوارتز ± پیریت ریز بلور + اکسید آهن ثانویه است. عرض رگچه‌ها در حدود ۱/۵ میلی‌متر است. زون پروپیلیتیک کمترین رخنمون را در منطقه داشته و به سمت شرق گسترش یافته است (شکل ۳). کانی‌های اصلی این زون شامل کلریت و جزئی اپیدوت است. البته مقادیر جزئی اکسید آهن ثانویه، سرسیت و کانی رسی نیز وجود دارند. رگچه‌های موجود در این زون از نوع کلریت و کربنات است. با توجه به توپوگرافی ملایم منطقه، علاوه بر دگرسانی‌های نام برده، زون آرژیلیک ثانویه در اثر هوازدگی و اکسایش کانی‌های سولفیدی شکل گرفته‌اند که در تهیه‌ی نقشه دگرسانی در نظر گرفته شد.

بررسی‌های زیر سطحی نیز نشان می‌دهند که در گمانه‌های B-H1، B-H2 و B-H5 از سطح به عمق دگرسانی آرژیلیکی و پروپیلیتیکی گسترش داشته و در عمق کوارتز، سرسیت و پیریت همراه با رگچه‌هایی از کربنات دیده می‌شوند. در گمانه‌های B-H3 و B-H4 از سطح به عمق شدت دگرسانی آرژیلیک کم و میزان سیلیس در سنگ اضافه می‌شود.

دگرسانی کوارتز- سرسیت و پیریت از عمق ۴۸ متر تا انتهای گمانه‌های بخش جنوبی رگه‌ی کوارتز طلا- آنتیموان دیده می‌شوند. این دگرسانی در گمانه‌ی B-H8 از سطح تا عمق ۱۴ متر در توده‌ی شبه آتشفشانی کوارتز مونوزودپوریت پورفیری دیده می‌شود (شکل ۴). بیشترین گسترش دگرسانی

گسترش و شدت آن در مرکز رگه و در گمانه‌های ۶ و ۴ دیده می‌شود. گسترش و شدت کانی‌سازی در شمال غربی رگه‌ی کوارتز طلا- آنتیموان و در گمانه‌های ۱ و ۲ مشاهده می‌شود. بیشترین عیار طلا در گمانه‌های شماره ۴ و ۷ به میزان حداکثر ۹۰۰ و ۶۰۰ پی‌پی‌بی در توده‌ی شبه آتشفشانی کوارتز مونوزودیوریت پورفیری دیده می‌شود (شکل ۴). بیشترین مس و قلع در گمانه‌ی شماره ۴ به ترتیب به میزان ۶۲۶ و ۲۲ پی‌ام وجود دارد. بیشترین میزان آنتیموان در گمانه‌های ۵ و ۱ به میزان حداکثر ۱۸۲۸۱ پی‌پی‌ام دیده می‌شود.

و کانی‌سازی استینیت در گمانه‌ی B-H5 در زون آرژلیک دیده می‌شود. در گمانه‌ی B-H6 کانی‌سازی سولفیدی کربناتی در عمق بیش از ۸۵ متر با تراکم بیش از ۲۵ رگچه در متر و عرض ۱ تا ۴ میلی متر دیده می‌شود. کانی‌سازی سولفیدی در گمانه‌ی B-H8 تا عمق ۱۵۰ متر به صورت افشان و پراکنده و بین ۱۵۰ تا ۱۶۰ متر به شکل رگچه است که در دگرسانی کربناتی و پروپیلیتیک دیده می‌شود. گسترش عمقی کانی‌سازی در جنوب شرقی رگه‌ی کوارتز طلا- آنتیموان در گمانه‌ی شماره ۵ محدود شده و بیشترین



شکل ۴ مقاطع دگرسانی و کانی‌سازی از چهار گمانه‌ی مورد بررسی در راستای نیمرخ W ۱۵۰ (مراجعه شود به شکل ۵). نتایج عیار طلا در سمت راست هر گمانه آمده‌اند.

## تفسیر داده‌های ژئوفیزیکی

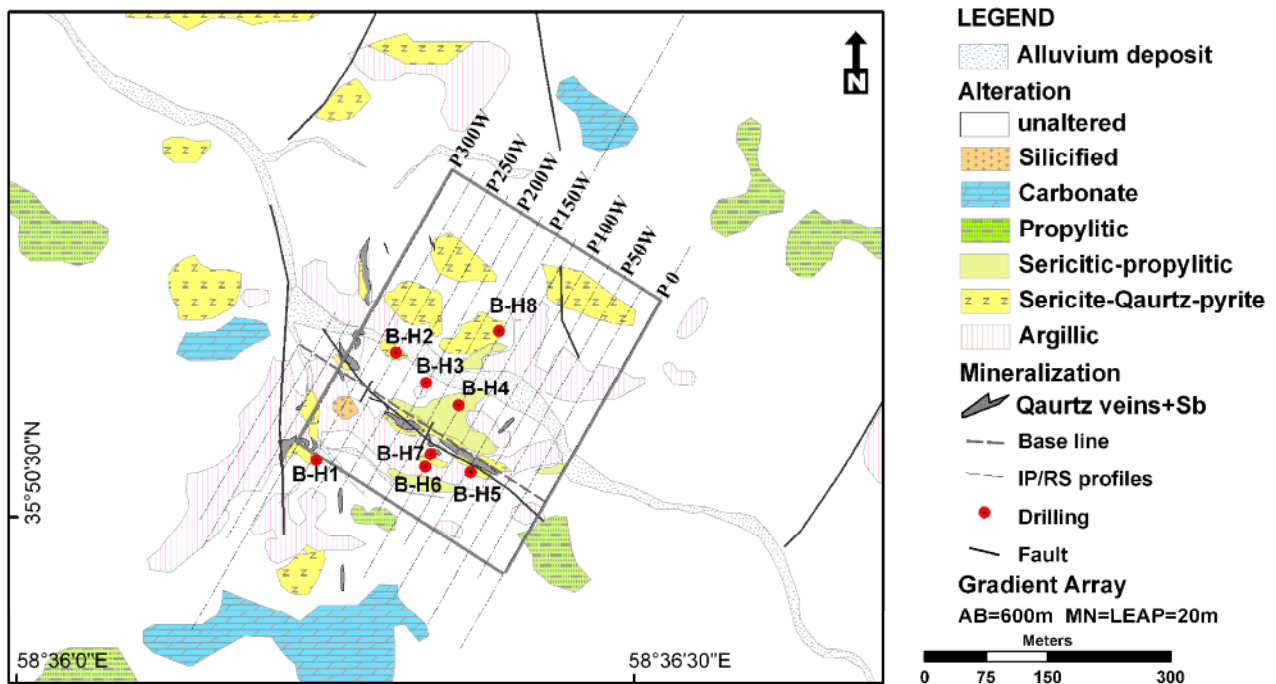
گستره‌ی مورد نظر با دو آرایه‌ی مستطیلی با مشخصات  $AB = 600$  متر و  $MN = LEAP = 20$  متر پوشش داده شد. بدین منظور خط مبنایی با زاویه‌ی  $N 57 W$  که مختصات نقطه‌ی صفر آن عبارتند از  $X = 58 36' 26.06''$  و  $Y = 35 50' 33.13''$  در نظر گرفته شد [۱۷]. خط مبنا تقریباً روی رخنمون رگه‌ی کوارتز طلا- آنتیموان قرار دارد. سپس نیمرخ-های برداشت که عمود بر راستای خط مبناست با فواصل ۲۵ متر از نیمرخ صفر تا نیمرخ ۳۰۰ غربی علامت گذاری شد. روی هر نیمرخ ایستگاه‌ها از ۱۲۰ جنوبی تا ۲۸۰ شمالی با فاصله‌ی ۲۰ متر در نظر گرفته شد (شکل ۵). در نقشه بارپذیری به دست آمده از آرایه‌ی مستطیلی، بی‌هنجاری در شمال شرقی نزدیک گمانه‌ی B-H8 به مقدار بیش از ۴۰ میلی‌ثانیه دیده می‌شود که به زون دگرسانی کوارتز، سرسیت و پیریت وابسته است (مقایسه‌ی شکل ۶ و ۳).

بی‌هنجاری در بخش شرقی به میزان ۳۵ میلی‌ثانیه است که با دگرسانی آرژیلیکی همخوانی دارد. نزدیک خط مبنا تغییر ناگهانی در بارپذیری به صورت خطی با راستای تقریباً شرقی- غربی دیده می‌شود که هماهنگ با رگه‌ی کوارتز طلا- آنتیموان

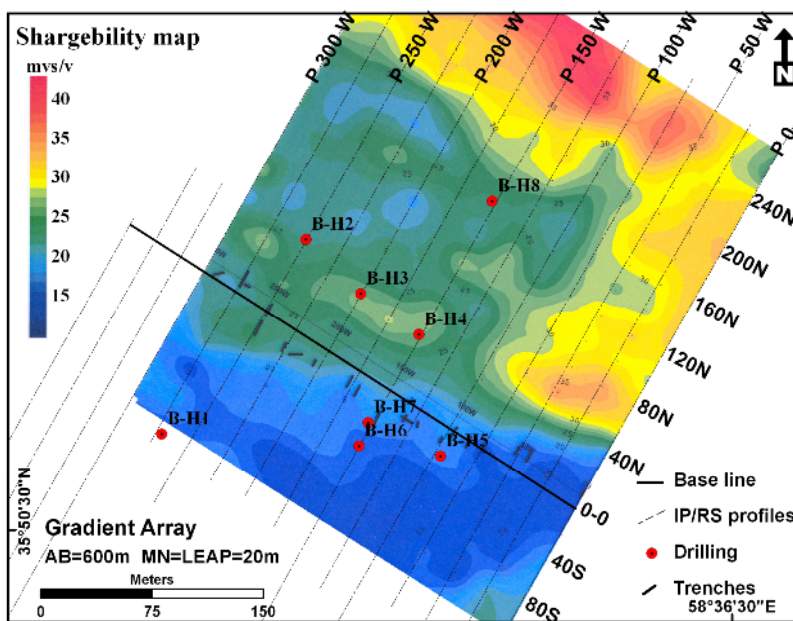
است. تغییرات مقاومت ظاهری همخوانی مناسبی با بی‌هنجاری بارپذیری دارد.

در نقشه مقاومت سنجی بیشترین بی‌هنجاری به میزان بیش از ۱۵۰ اهم متر در غرب ناحیه با روند شرقی غربی دیده می‌شود (شکل ۷). این بی‌هنجاری با زون دگرسانی آرژیلیکی همخوانی دارد. مرکز این بی‌هنجاری روی زون دگرسانی سیلیسی قرار دارد (شکل ۳). پس از رسم نقشه‌های بارپذیری و مقاومت ظاهری و تعیین بی‌هنجاری‌ها، روی ۶ نیمرخ شبه مقطعی با آرایه‌های وئر، دوقطبی- دوقطبی و تک قطبی- دوقطبی برداشت شدند که روی نیمرخ صفر برداشت با آرایه‌های مختلف انجام شده است و جمعاً ۲۲۳۷ ایستگاه را شامل می‌شود (جدول ۱). البته طول نیمرخ‌ها با توجه به بی‌هنجاری‌های دیده شده هنگام برداشت، مشخص شده است.

برای تفسیر شبه مقاطع IP/RS، به شرح سه نیمرخ صفر،  $W 150$ ،  $W 300$  بسنده کردیم که به ترتیب در ابتدا، وسط و انتهای رگه‌ی اصلی طلا- آنتیموان قرار دارد. تفسیر شبه مقطع IP/RS نیمرخ  $W 150$  به علت وسعت و شدت زیاد بی‌هنجاری بارپذیری و وجود اطلاعات عمقی از چهار گمانه که همه روی این نیمرخ حفاری شدند، با جزئیات بیشتری صورت گرفته است.



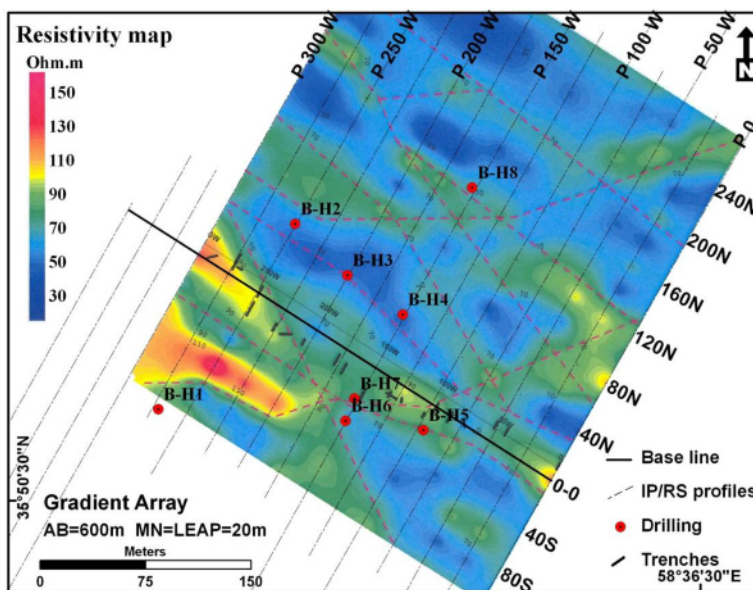
شکل ۵ موقعیت نیمرخ‌های IP/RS و چهار گوش برداشت ژئوفیزیک روی نقشه‌ی دگرسانی گستره‌ی مورد بررسی. موقعیت گمانه‌ها روی آنها آمده است.



شکل ۶ نقشه‌ی بارپذیری گستره‌ی مورد بررسی در رگه طلا- آنتیموان، پس از تغییراتی از [۱۷].

جدول ۱ مشخصات نمیرخ‌های برداشت شده در گستره‌ی مورد بررسی.

پروفیل	شبه مقطع	آرایه	ایستگاه	طول (متر)
P 0	DD <sub>1</sub>	دوقطبی-دوقطبی	۱۴۰ S تا ۱۶۰ N	۳۰۰ متر
P 0	PD <sub>1</sub>	تک قطبی- دو قطبی	۸۰ S تا ۲۳۰ N	۳۱۰ متر
P50W	PD <sub>2</sub>	تک قطبی- دو قطبی	۸۰ S تا ۲۳۰ N	۳۱۰ متر
P100W	PD <sub>3</sub>	تک قطبی- دو قطبی	۸۰ S تا ۲۳۰ N	۳۱۰ متر
P150W	PD <sub>4</sub>	تک قطبی- دو قطبی	۸۰ S تا ۴۷۰ N	۵۵۰ متر
P250W	W <sub>1</sub>	ونر	۸۰ S تا ۸۰ N	۱۶۰ متر
P300W	DD <sub>2</sub>	دوقطبی-دوقطبی	۲۱۰ S تا ۲۳۰ N	۴۴۰ متر



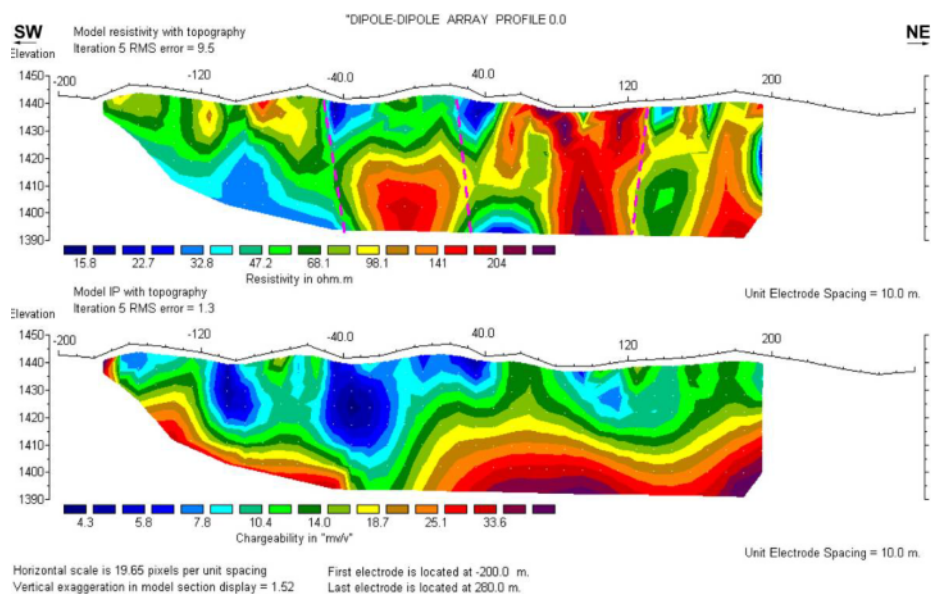
شکل ۷ نقشه‌ی مقاومت ظاهری گستره‌ی مورد بررسی در رگه طلا- آنتیموان، پس از تغییراتی از [۱۷].

بارپذیری از ۵۰ میلی‌ثانیه در مرکز زون بی‌هنجاری به ۳۱ میلی‌ثانیه در بخش جنوب غربی می‌رسد. بی‌هنجاری بارپذیری از شمال شرقی به سمت جنوب غربی عمیق‌تر شده و در آن جهت گسترش دارد.

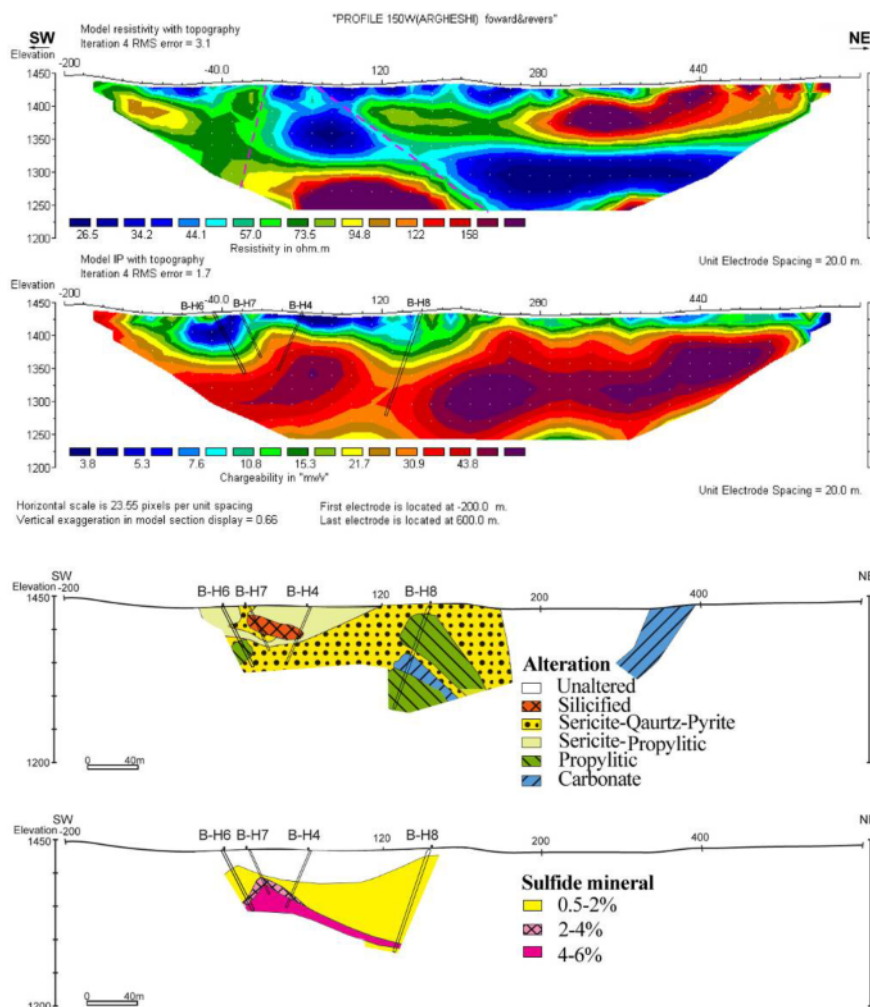
در نیمرخ ۱۵۰ W چهار گمانه‌ی ۴، ۶، ۷ و ۸ وجود دارند که به صورت شیب‌دار حفاری شده‌اند (شکل ۹). براساس بررسی‌های زیر زمینی گمانه‌ها در این پژوهش، بیشترین کانی‌سازی سولفیدی در گمانه‌ی B-H4 دیده می‌شود. در B-H4 زون کوارتز-سرسیت و پیریت، عرض رگچه‌ها و تراکم آنها از عمق ۵۰ متر زیاد شده و تا انتهای گمانه به عمق ۸۴ متر دیده می‌شود (شکل ۱۱). در گمانه‌ی B-H6 کانی‌سازی از عمق ۸۵ متر شروع شده و تا عمق ۹۶ متر ادامه دارد. کانی‌سازی در گمانه‌های B-H4، B-H6 و B-H7 به صورت رگچه با عرض ۱ تا ۶ میلی‌متر و تراکم ۲۰ تا ۳۰ رگچه در متر است. در B-H8 کانی‌سازی از عمق ۱۵ تا ۱۵۰ متر به صورت افشان و پراکنده و بین ۱۵۰ تا ۱۶۰ متر به شکل رگچه دیده می‌شود. گمانه‌های B-H4، B-H6، B-H7 و B-H8 که حاوی کانی‌سازی سولفیدی هستند روی بی‌هنجاری بارپذیری حفر شده‌اند که به سمت شمال شرقی شدت و گسترش بیشتری دارد و در نتیجه بازتاب دهنده‌ی کانی‌سازی سولفیدی در عمق است (مقایسه شکل ۹ با ۱۲).

براساس شبه‌مقطع IP/RS وابسته به نیمرخ صفر که با آرایش دوقطبی-دو قطبی برداشت شده است زون بی‌هنجاری بارپذیری با مقدار بیش از ۲۵ میلی‌ثانیه در عمق بیش از ۳۰ متر در فاصله‌ی ۱۰۰ تا انتهای نیمرخ مدفون شده و گسترش آن به سمت شمال شرقی دیده می‌شود (شکل ۸). به نظر می‌رسد که بی‌هنجاری در اثر گسل به دو بی‌هنجاری تقسیم می‌شود که در شبه‌مقطع مقاومت ظاهری بهتر قابل مشاهده است. افزایش مقاومت ویژه‌ی الکتریکی از ایستگاه ۶۰ شمالی تا ۱۳۰ شمالی با بیش از ۲۲۰ اهم متر و دوباره از ۱۷۰ شمالی تا ۲۰۰ شمالی مشاهده می‌شود که به زون دگرسانی آرژیلیکی وابسته است که در سطح رخنمون دارد. زون آرژیلیک می‌تواند به گسل عمقی وابسته باشد که با تغییرات مقاومت در شبه‌مقطع ظاهر شده است. در این نیمرخ اطلاعات حفاری وجود ندارد.

براساس شبه‌مقطع IP/RS نیمرخ W ۱۵۰، زون بی‌هنجاری بارپذیری گسترده‌ای با گسترش شمال شرقی-جنوب غربی در بخش مرکزی رگه‌ی اصلی آنتیموان وجود دارد (شکل ۹). بی‌هنجاری بارپذیری از شمال شرقی در ایستگاه ۴۹۰ شمالی از عمق ۲۰ متر شروع شده و با شیب ملایم به سمت مرکز ادامه دارد و در فاصله‌ی ۱۴۰ تا ۱۶۰ شمالی با گسلی به دو بخش شمال شرقی و جنوب غربی تقسیم شده است. میزان



شکل ۸ نمایش شبه‌مقطع مقاومت ویژه و بارپذیری نیمرخ صفر با آرایش دوقطبی-دوقطبی [۱۷].



شکل ۹ نمایش شبه‌مقطع مقاومت ویژه و بارپذیری نیمرخ W ۱۵۰ پس از تغییراتی از [۱۷]. مقاطع دگرسانی و درصد کانی‌زایی سولفیدی بر اساس بررسی‌های انجام شده از گمانه‌ها در راستای نیمرخ W ۱۵۰ آمده‌اند.

بر اساس شبه مقطع IP/RS در نیمرخ W ۳۰۰، زون بی‌هنجاری بارپذیری به صورت ناپیوسته دیده می‌شود که ممکن است به خاطر گسل باشد. وسعت زون بی‌هنجاری در مقایسه با نیمرخ W ۱۵۰ بیشتر ولی شدت آن کمتر شده است و نواحی با بارپذیری بیش از ۳۹ میلی‌ثانیه گسترش کمتری دارد (شکل ۱۰). میزان بارپذیری از ۵۰ میلی‌ثانیه در مرکز زون بی‌هنجاری به ۲۵ میلی‌ثانیه در محل ناپیوستگی زون بی‌هنجاری می‌رسد. بیشترین میزان بارپذیری در جنوب غربی نیمرخ حد فاصل ۲۴۰- جنوبی تا ۲۸۰- جنوبی دیده می‌شود. گمانه‌ی B-H1 در نقطه‌ی ۱۰۰- جنوبی و در نیمرخ W ۲۷۵ قرار دارد. با توجه به نزدیکی این گمانه به نیمرخ W ۳۰۰، می‌توان تا حدودی از اطلاعات عمقی آن استفاده کرد. در این گمانه، رگچه‌های پیریت از عمق ۳۲ تا ۵۵ متر با عرض کمتر از ۲ میلی‌متر و تراکم ۷ تا ۱۰ رگچه در متر دیده می‌شود. بنابر این،

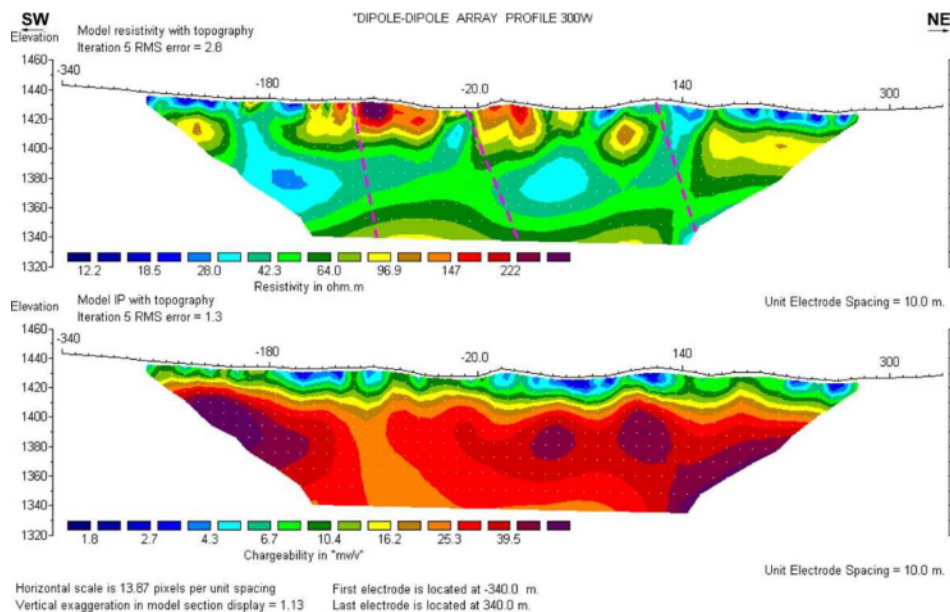
در نیمرخ W ۱۵۰، تغییرات مقاومت ویژه الکتریکی برازش خوبی با بی‌هنجاری بارپذیری داشته و مناطق دارای بارپذیری بالا با افت مقاومت ویژه همراه است و سبب افت مقاومت از ۱۶۵ به ۲۶ تا ۳۴ اهم متر در زون رسانای الکتریکی شده است. از طرفی مقدار مقاومت ویژه در بخش‌های سطحی‌تر شبه مقطع کاهش چشمگیری نشان می‌دهد که به زون اکسیدی و دگرسان‌های سطحی وابسته است. در بخش شمال شرقی نیمرخ W ۱۵۰ در فاصله‌ی ۳۰۰ شمالی تا ۴۶۰ شمالی، شاهد افزایش مقاومت ویژه تا بیش از ۱۵۰ اهم متر بوده که به توده شبه آتشفشانی بیوتیت دیوریت پورفیری وابسته است که در سطح زمین رخنمون دارد. افزایش مقاومت ویژه در بخش جنوب غربی نیمرخ بین ۴۰ تا ۱۲۰ شمالی در عمق ۱۰۰ متر به توده‌ی سنگی شبه آتشفشانی کوارتز مونوزدیوریت پورفیری وابسته است که در گمانه‌ی B-H4 مشاهده می‌شود (شکل ۹).

در گمانه‌ها همخوانی دارد. براساس بررسی‌های به‌دست آمده از مغزه‌های حفاری، گسترش کانی‌سازی در شرق رگه‌ی اصلی طلا- آنتیموان کم است و از عمق ۴۰ تا ۵۶ متر در گمانه‌ی شماره ۵ به صورت رگه و رگچه‌ی سولفیدی وجود دارد. بیشترین گسترش کانی‌سازی در مرکز رگه‌ی اصلی آنتیموان و در گمانه‌های ۴، ۶، ۷ و ۸ دیده می‌شود که با زون بی‌هنجاری بارپذیری در نیمرخ  $150W$  همخوانی دارد. کانی‌سازی در منتهی‌الیه غرب رگه‌ی اصلی در گمانه‌ی شماره ۱ در عمق ۲۰ تا ۶۰ متر محدود شده و به صورت رگچه‌های عریضی مشاهده می‌شود. براساس بررسی‌های انجام گرفته روی گمانه‌ها، بیشترین کانی‌سازی در گمانه‌ی شماره ۴ دیده می‌شود که هماهنگ با بیشترین شدت بی‌هنجاری بارپذیری در نیمرخ  $150W$  است. از آنجا که این بی‌هنجاری به سمت شمال شرقی در نیمرخ  $150W$  گسترش دارد لذا می‌توان پیش‌بینی کرد که در بخش شمال شرقی این نیمرخ، با وجودیکه کانی‌سازی در سطح دیده نمی‌شود، ولی در عمق گسترش خوبی دارد و بهتر است در حد فاصل ایستگاه ۲۰۰ شمالی و ۴۴۰ شمالی نیز دو گمانه حفاری شود. در نیمرخ  $300W$  نیز با توجه به وجود بی‌هنجاری بالای بارپذیری در بخش جنوب غربی حدود ایستگاه ۱۸۰- جنوبی و ۲۲۰- جنوبی و فاصله نزدیک آن نیمرخ با گمانه‌ی B-H1 که حاوی رگچه‌های کانی‌سازی بوده می‌تواند خاستگاه این بی‌هنجاری نیز کانی-

مقدار بالای بارپذیری قسمت جنوب غربی نیمرخ  $300W$  می‌تواند به کانی‌سازی وابسته باشد. افزایش شدید مقاومت ویژه‌ی الکتریکی تا ۲۵۰ اهم متر در بخش‌های نزدیک به سطح در فاصله‌ی ۶۰- جنوبی تا ۱۶۰- جنوبی و ۲۰- جنوبی تا ۸۰ شمالی به زون دگرسانی آرژلیک وابسته است (شکل ۱۰). این زون دگرسانی آرژلیک تا عمق ۶۰ متر در گمانه‌ی B-H1 دیده می‌شود.

#### برداشت

براساس شبه مقاطع IP/RS، در سه نیمرخ صفر،  $150W$ ،  $300W$  بی‌هنجاری بارپذیری در بخش جنوب شرقی رگه‌ی اصلی آنتیموان در نیمرخ صفر کوچکتر شده و در عمق بیشتری مدفون شده است. زون بی‌هنجاری در نیمرخ  $150W$  با گسترش شمال شرقی- جنوب غربی بیشترین شدت را داشته و بازتاب دهنده‌ی کانی‌سازی سولفیدی مشاهده شده در گمانه‌های B-H4، B-H6، B-H7 و B-H8 است. بی‌هنجاری در این شبه مقطع با گسل قطع شده است. بی‌هنجاری بارپذیری به سمت شمال غربی رگه‌ی اصلی آنتیموان ادامه یافته و در منتهی‌الیه شمال غربی رگه در نیمرخ  $300W$  به صورت سه بی‌هنجاری کوچک دیده می‌شود. گسترش بی‌هنجاری در این نیمرخ زیاد است ولی شدت آن کم شده است. افزایش بارپذیری و گسترش زون بی‌هنجاری، موید حضور مواد رسانا و سولفیدی همراه با درصدی پیریت بوده و با کانی‌سازی‌های مشاهده شده



شکل ۱۰ شبه مقطع داده‌های مدلسازی نیمرخ  $300W$  [۱۷].

Exploration Geophysics special publication No 11 (1999) 81-112.

[7] Rajagopalan S., "Porphyry-type copper deposits, eastern Victoria", Australian Society of Exploration Geophysics special publication No 11 (1999) 113-136.

[8] Haydon S.J., "Geophysical exploration for base metals in the carbonates of the Buchan Rift, eastern Victoria", Australian Society of Exploration Geophysics special publication No 11 (1999) p137.

[9] Guo W., Dentith M., Zhao Y., "Geophysical exploration in the Xi-Cheng lead-zinc orefield Gansu Province, China", Exploration Geophysics 31 (2000) 243-247.

[10] Bishop J.R., Lewis R. J. G., "Geophysical signatures of Australian volcanic hosted Massive sulfide deposits", Economic Geology 87 (1992) 913-930.

[11] Dezhong H., Delian L., Shuigen X., "Explanatory Text of Geochemical Map of kadkan (7661), Stream Sediment Survey", Geological Survey of Iran, No 20 (1995).

[۱۲] آقا نباتی ع.، "زمین شناسی ایران"، وزارت صنایع و معادن، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۵۸۶ صفحه (۱۳۸۵).

[۱۳] نادری میقان ن.، "نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ کدکن"، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، (۱۳۷۷).

[۱۴] کیوان فر م.، "عسگری ع.، "مطالعات اجمالی عملیات اکتشافی در کانسار طلای ارغش (جنوب غرب نیشابور)"، شرکت توسعه علوم زمین، (۱۳۸۰).

[۱۵] کیوانفر م.، "عسگری ا.، "گزارش نقشه های زمین شناسی- معدنی ۱:۵۰۰۰ ناحیه معدنی ارغش- چشمه زرد (جنوب نیشابور)"، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، (۱۳۷۷).

[۱۶] جعفری زنگلانو م.، "منظمی باقرزاده ر.، "طرح تلفیق لایه های اطلاعات پایه و تعیین نقاط امید بخش مواد معدنی، گزارش اکتشاف عمومی طلا- آنتیموان حسن آباد"، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، (۱۳۸۸).

[۱۷] محمدی م.، "عامری ع.، "گزارش اکتشاف ژئوفیزیک به روش IP/RS در منطقه ارغش"، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، (۱۳۸۶).

سازی باشد و بنابر این در این گستره ی حفاری پیشنهاد می-شود. افزایش مقاومت ویژه الکتریکی در نیمرخ W ۱۵۰ در فاصله ی ۴۰ شمالی تا ۱۲۰ شمالی به توده ی شبه آتشفشانی کوارتز مونزودیوریت پورفیری وابسته است که براساس مشاهدات حفاری به نظر می رسد سن نفوذ آن جوانتر از گرانیتهاست. گسل پیشنهادی در شبه مقطع مقاومت ویژه ی نیمرخ W ۱۵۰ با بررسی های مغزه ها هماهنگی دارد. بررسی های تفصیلی زمین شناسی، دگرسانی و کانی سازی گمانه ها، خاستگاه بی هنجاری های بارپذیری را توضیح داده و متقابلاً محل های مناسب حفاری از روی این بی هنجاری ها انتخاب شدند.

#### قدردانی

از ریاست محترم سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی شمال شرق کشور جناب آقای مهندس روشن روان که در فراهم آوردن امکانات بررسی های مغزه های حفاری منطقه اکتشافی طلا- آنتیموان حسن آباد همکاری نمودند و نیز جناب آقای مهندس جعفری در بخش اکتشاف و آقایان پورعلی و نیایی در بخش خدمات سازمان، تشکر و قدردانی می کنیم.

#### مراجع

- [1] Barr D.j., Chenoweth L. M., Shugg K.G., Thampson M.J., "Benambra M.E.L.S-Progress report 1977-79. K/2473". Western Mining Corporation Ltd (unpubl) (1979) 45p.
- [2] Willocks A.j., Moore D.H., "Geology and geophysical exploration of base metals in Victoria, geology survey of Victoria Report 119", Australian Society of Exploration Geophysics special publication No 11 (1999) 1-22.
- [3] Rajagopalan S., Haydon S.J., "The Benambra volcanic hosted massive sulphide deposits", Australian Society of Exploration Geophysics special publication No 11 (1999) 23-65.
- [4] Haydon S.J., "Recent base metal discovery at the Hill 800 Prospect", Australian Society of Exploration Geophysics special publication No 11 (1999) 49-66.
- [5] Haydon S.J., "Geophysical and exploration of the volcanic hosted massive sulphide prospect near Wickliffe", western Victoria, Australian Society of Exploration Geophysics special publication No 11 (1999) 67-80.
- [6] Willocks A. J., "Geophysical responses over the Mount Ararat Prospect", Australian Society of