

Geology, alteration, mineralization and geochemistry of MA-II region, Maherabad porphyry copper-gold prospect area, South Khorasan province

A. Malekzadeh^{*}, M. H. Karimpour, S. A. Mazaheri

Research Center for Ore Deposit of Eastern Iran, Ferdowsi University of Mashhad

(Received: 25/5/2009, in revised form: 22/7/2009)

Abstract: MA-II area is one of the most important parts of Cu-Au porphyry mineralization at Maherabad prospect area. Subvolcanic intermediate intrusive rocks (Upper Eocene), monzonite to diorite in compositions, intruded telescopically and are mostly altered. Monzonitic porphyries had major role in mineralization. These intrusive rocks are highly altered, have dense stockwork veinlets, and show highest geochemical anomalies. Hydrothermal alteration zones are: Quartz-sericite-pyrite, silicified-propylitic, propylitic, carbonate and silicified zone. Mineralization occurs as stockwork, disseminated, and hydrothermal breccia. Stockwork is the most important type of mineralization. Veinlets found within quartz-sericite-pyrite zone are: quartz, quartz-pyrite, quartz-pyrite-chalcopryrite and pyrite-chalcopryrite $\pm$ quartz. Veinlets within silicified-propylitic are: quartz-pyrite $\pm$ chalcopryrite, quartz-pyrite $\pm$ magnetite, quartz-pyrite-chlorite and quartz-magnetite. The density of quartz-sulfide veinlets is about 30 per m² (in center of MA-II in quartz-sericite-pyrite alteration zone). Most of sulfide minerals were oxidized. Secondary Fe-oxides are seen up to 15% in some places. Compositional variations of elements within MA-II area are as follow: Cu = 22-1073 (ppm), Au = 16-886 (ppb), Mo = 5-54 (ppm), Zn = 40-754 (ppm), Pb = 14- 148 (ppm), As = 8-128 (ppm), Sb = 0.1-9 (ppm). High concentration of Cu and Au associated with high density of veinlets in quartz-sericite-pyrite zone in the center of MA-II area. There is positive correlation is between Cu and Au anomalies and veinlet density. Based on the obtained data, MA-II area is a part of porphyry Cu-Au deposit.

Keywords: *Maherabad, Porphyry copper-gold, Quartz-Sericite-Pyrite, Stockwork mineralization, Lut block.*

^{*}Corresponding author, Telefax: +98 (0511) 8797275, E-mail: aza_malek@yahoo.com



زمین‌شناسی، دگرسانی، کانی‌سازی و ژئوشیمی گستره MA-II، منطقه پی‌جویی مس - طلای پورفیری ماهرآباد، استان خراسان جنوبی

آزاده ملک‌زاده شفارودی*، محمدحسن کریم‌پور، سید احمد مظاهری

مرکز تحقیقات ذخایر معدنی شرق ایران، دانشگاه فردوسی مشهد

(دریافت مقاله: ۸۸/۳/۵، نسخه نهایی: ۸۸/۵/۱)

چکیده: ناحیه MA-II یکی از بخش‌های مهم کانی‌سازی Cu-Au پورفیری در گستره پی‌جویی ماهرآباد است. توده‌های نیمه عمیق (ائوسن میانی) حدواسط با ترکیب مونزونیتی تا دیوریتی در یکدیگر به حالت تلسکوپی نفوذ کرده و بیشتر آن‌ها دگرسان شده‌اند. توده‌های مونزونیتی نقش اصلی در کانی‌سازی داشته‌اند. این توده‌ها به شدت دگرسان شده و بیشترین تراکم رگچه‌ای با بالاترین بی-هنجاری‌های ژئوشیمیایی در آن‌ها دیده می‌شود. زون‌های دگرسانی شامل: کوارتز-سرسیت-پیریت، سیلیسی-پروپلیتیک، پروپلیتیک، کربناته و سیلیسی است. کانی‌سازی به شکل‌های داربستی، افشان و برش گرمایی مشاهده می‌شود. مهم‌ترین حالت کانی‌سازی بافت داربستی است. رگچه‌های زون کوارتز-سرسیت-پیریت عبارتند از: کوارتز، کوارتز-پیریت، کوارتز-کالکوپیریت و پیریت-کالکوپیریت $\pm$ کوارتز. رگچه‌های زون سیلیسی-پروپلیتیک عبارتند از: کوارتز-پیریت $\pm$ کالکوپیریت، کوارتز-پیریت $\pm$ مگنتیت، کوارتز-پیریت-کلریت و کوارتز-مگنتیت. تراکم رگچه‌های کوارتز-سولفیدی در مرکز گستره MA-II در زون کوارتز-سرسیت-پیریت تا ۳۰ رگچه در مترمربع می‌رسد. بخش بیشتر کانی‌های سولفیدی در سطح اکسیده شده‌اند. در برخی بخش‌ها تا ۱۵ درصد اکسید آهن ثانویه دیده می‌شود. دامنه تغییرات عناصر در MA-II به صورت زیر است: مس ۲۲ تا ۱۰۷۳ گرم در تن، طلا ۱۶ تا ۸۸۶ میلی گرم در تن، مولیبدن ۵ تا ۵۴ گرم در تن، روی ۴۰ تا ۷۵۴ گرم در تن، سرب ۱۴ تا ۱۴۸ گرم در تن، آرسنیک ۸ تا ۱۲۸ گرم در تن و آنتیموان ۰/۱ تا ۹ گرم در تن. بیشترین میزان مس و طلا در مرکز ناحیه در زون کوارتز-سرسیت-پیریت و در محل بیشترین تراکم رگچه دیده می‌شود. همبستگی مثبتی بین تراکم رگچه‌ها و مقدار مس و طلا وجود دارد. با توجه به همه شواهد، MA-II بخشی از یک کانسار مس-طلای پورفیری است.

واژه‌های کلیدی: ماهرآباد، مس-طلای پورفیری، کوارتز-سرسیت-پیریت، کانی‌سازی داربستی، بلوک لوت

مقدمه

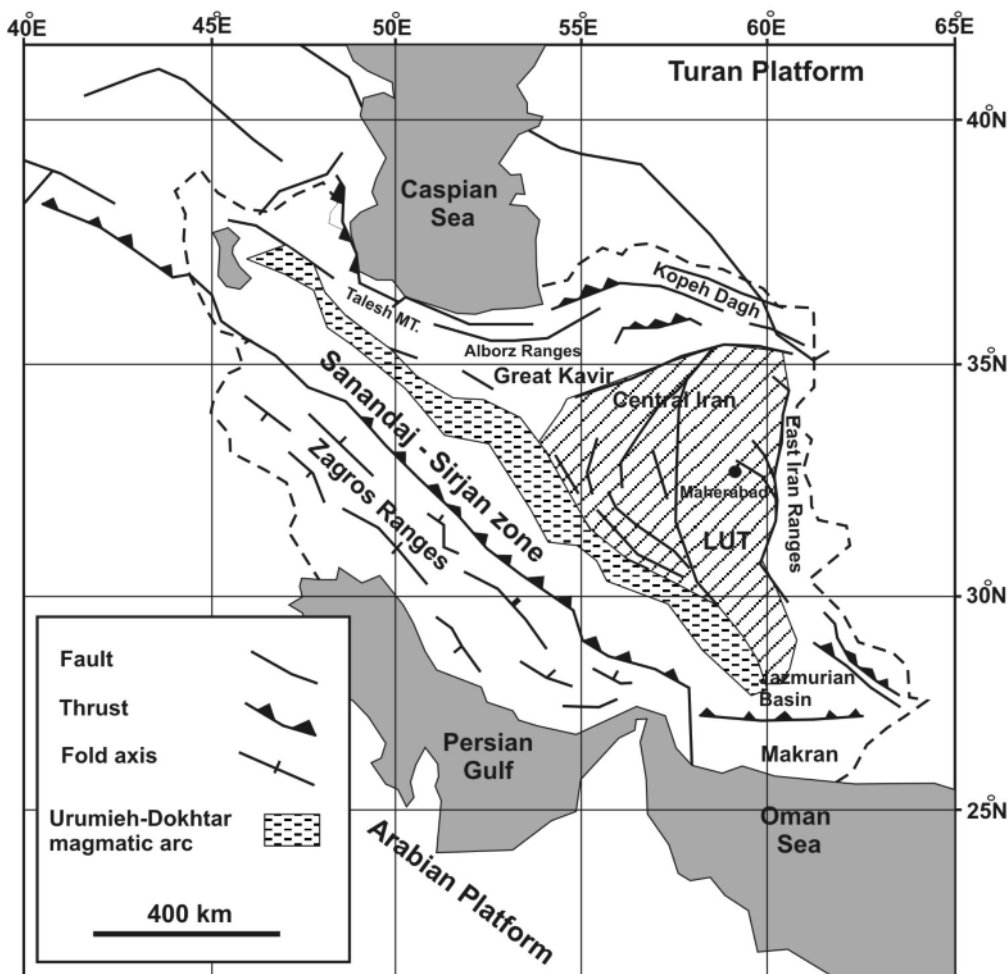
شرقی و عرض‌های جغرافیایی $32^{\circ} 26' 12''$ تا $32^{\circ} 31' 45''$ شمالی قرار دارد. این کانسار از نظر تقسیمات ساختاری در شرق بلوک لوت واقع شده است (شکل ۱). اشتوکلین و نبوی [۱] بلوک لوت را با درازایی در حدود ۹۰۰ کیلومتر در شرقی-

منطقه پی‌جویی ماهرآباد در حدود ۷۰ کیلومتری جنوب غربی شهرستان بیرجند، مرکز استان خراسان جنوبی، در گستره‌ای بین طول‌های جغرافیایی $58^{\circ} 46' 46''$ تا $58^{\circ} 57' 18''$

* نویسنده مسئول، تلفن-نمبر: ۸۷۹۷۲۷۵ (۰۵۱۱) ۹۸+، پست الکترونیکی: aza_malek@yahoo.com

بلوک لوت وجود دارد. بیشتر آن‌ها وجود یک چرخه کامل کوهزایی شامل ریفتی شدن، تشکیل اقیانوس کوچک بین بلوک لوت و افغان، فروانش پوسته اقیانوسی، بسته شدن اقیانوس و برخورد لوت و افغان را مطرح کرده‌اند [۷-۲] و کانسارهای شرق ایران را وابسته به آن‌ها می‌دانند. برخی دیگر نیز مسئله فروانش را مردود دانسته و تشکیل کانی‌سازی‌ها را به وجود شرایط کششی نسبت داده‌اند [۸-۱۰]. آنچه که مسلم است، وجود رشته‌ای کانی‌سازی‌های مس پورفیری مانند ماهرآباد و نیز توده‌های رشته ایلمنیت همچون شاه‌کوه و توده‌های نیمه-عمیق منطقه هیرد با سن‌های متفاوت است که می‌توان آن را نشان دهنده وجود زون فروانش و مرحله برخورد در بلوک لوت دانست. بنابراین وابسته دانستن تمام کانی‌سازی‌های شرق ایران به شرایط کششی منطقه کاملاً اشتباه است.

ترین بخش خرد قاره ایران مرکزی دانسته‌اند. آن‌ها مرز شرقی آن را گسل نه‌بندان و حوضه فلیش شرق ایران و مرز غربی آن را گسل نایبند و بلوک طبس مشخص کردند. مرز شمالی این بلوک به فرو افتادگی جنوب کاشمر و مرز جنوبی آن به فرونشست جازموریان بسته می‌شود. مهم‌ترین ویژگی لوت که آن را از دیگر بخش‌های خرد قاره ایران مرکزی جدا می‌کند، وجود حجم عظیم ماگماتیسیم ترشیاری، به‌ویژه سنگ‌های آتشفشانی است که با داشتن ضخامتی در حدود ۲۰۰۰ متر بیش از نیمی از بلوک لوت را می‌پوشاند. وجود فعالیت ماگمایی گسترده با ویژگی‌های ژئوشیمیایی متفاوت در نقاط مختلف، باعث شده است تا بلوک لوت پتانسیل بسیار مناسبی برای تشکیل انواع کانی‌سازی‌های فلزی و غیرفلزی داشته باشد. نظریات زمین‌ساختی مختلفی در مورد چگونگی شکل‌گیری



شکل ۱ نقشه ساختاری ساده شده ایران (ترکیب شده از [۱۴، ۱۵]) و موقعیت گستره پی‌جویی ماهرآباد در بلوک لوت.

شرق ایران و به ویژه بلوک لوت به واسطه رویداد فرورانش در زمان‌های گذشته و به دنبال آن وجود حجم عظیم ماگماتیسیم، پتانسیل بسیار مناسبی برای تشکیل کانی‌سازی-های مختلف به خصوص کانسارهای مس پورفیری دارد. شواهدی از این نوع کانی‌سازی در نقاط مختلف شرق ایران نیز معرفی شده‌اند (مانند سرخ‌کوه [۸]، رحیمی [۱۱]، چاه‌شلمی [۱۲]، ده سلم [۱۳] و غیره)؛ ولی تاکنون پی‌جویی چشم‌گیری روی آن‌ها صورت نگرفته و هیچ‌گونه ذخیره پورفیری به مرحله بهره‌برداری نرسیده است. به نظر می‌رسد که این بخش از ایران می‌تواند دومین کمربند مهم مس پورفیری ایران پس از زون ارومیه-دختر باشد.

منطقه پی‌جویی ماهرآباد از دیرباز مورد شناسایی قرار گرفته بوده است. آثار کنده‌کاری‌های قدیمی در برخی نقاط دیده می‌شوند. هم‌اکنون بخش اصلی کانی‌سازی این ناحیه به شرکت پارس کانه کیش تعلق دارد که در حال پی‌جویی مقدماتی است. در این کار پژوهشی سعی شده است تا زمین‌شناسی، دگرسانی، کانی‌سازی و ژئوشیمی بخشی از منطقه ماهرآباد به تفصیل بررسی شوند تا گامی در راه پی‌جویی این نوع کانی‌سازی در شرق ایران باشد.

هدف از این کار پژوهشی، تهیه نقشه دقیق زمین‌شناسی منطقه با توجه ویژه به توده‌های نفوذی نیمه‌عمیق و جدایش توده‌های وابسته به کانی‌سازی از دیگر توده‌ها، بررسی‌های دگرسانی و منطقه‌بندی آن‌ها و وابستگی کانی‌سازی با این زون‌ها، کانی‌سازی‌های مختلف موجود در ناحیه و ارتباط کانی-های فلزی با کانی‌های دگرسان، بررسی‌های ژئوشیمیایی و وابستگی آن با دگرسانی و کانی‌سازی و سرانجام تعیین مدل کانی‌سازی است.

روش مطالعه

بخش اصلی کانی‌سازی ماهرآباد در سه گستره به نام‌های MA-I، MA-II و MA-III مشاهده می‌شود که به ترتیب اهمیت از نظر کانی‌سازی و ژئوشیمی نامگذاری شده‌اند. این مقاله بیشتر به بررسی زمین‌شناسی، دگرسان، کانی‌سازی و ژئوشیمی MA-II می‌پردازد. این گستره با پهنای تقریبی ۲ کیلومترمربع تقریباً در مرکز گستره پی‌جویی ماهرآباد واقع شده است. بررسی‌های صحرایی و آزمایشگاهی انجام شده در این ناحیه شامل مراحل زیر است:

الف) تهیه نقشه‌های زمین‌شناسی، دگرسانی و کانی‌سازی به مقیاس ۱:۲۰۰۰ (ب) تعیین تراکم رگچه‌ها، توزیع اکسیدهای آهن ثانویه حاصل از اکسایش سولفیدها و مقدار توزیع کانی-

های درونزاد مانند پیریت و کالکوپیریت در سطح، پ) برداشت نمونه‌های سنگی (بیش از ۶۰ نمونه) به منظور بررسی‌های سنگ‌شناسی، دگرسانی و کانی‌سازی، ت) بررسی سنگ-شناختی، دگرسانی و کانی‌سازی در ۵۰ مقطع نازک و ۲۵ مقطع نازک صیقلی و بلوک صیقلی، ث) برداشت ۹ نمونه خرده‌سنگی به منظور بررسی‌های ژئوشیمیایی از سطح و آنالیز آن‌ها به روش ICP-MS برای ۳۶ عنصر از جمله، Mo، Au، Zn، Pb، As، Sb و غیره در آزمایشگاه ACME کانادا و استفاده از نتایج آنالیز ژئوشیمیایی شرکت پارس کانه کیش (۲۸ نمونه خرده‌سنگی برداشت شده از ترانشه‌ها) و ج) تفسیر نتایج.

زمین‌شناسی

گستره پی‌جویی ماهرآباد از نظر زمین‌شناسی ناحیه‌ای در گوشه شمال شرقی برگه ۱:۱۰۰۰۰۰ سرچاه‌شور [۱۶] قرار گرفته است. بنا بر این نقشه، بخش بزرگ منطقه شامل سنگ-های آتشفشانی در حد آندزیت، داسیت، ریولیت، توف و ایگنمبریت است که در برخی از نقاط سنگ‌های نیمه‌عمیق اسیدی-حدواسط در آن‌ها نفوذ کرده‌اند. ولی بررسی‌های صحرایی و آزمایشگاهی این پروژه نشان داد که بسیاری از واحدهایی که در نقشه، سنگ آتشفشانی معرفی شده‌اند، توده-های نفوذی نیمه‌عمیق هستند. بیشتر سنگ‌های آتشفشانی-نفوذی منطقه دگرسان شده‌اند و کانی‌سازی در برخی نقاط مشاهده می‌شود. علاوه بر گستره پی‌جویی ماهرآباد، کانی-سازی‌های دیگری در منطقه وجود دارند که خارج از موضوع این مقاله است.

براساس بررسی‌های صحرایی و آزمایشگاهی انجام شده، واحدهای زمین‌شناسی شناسایی شده در گستره پی‌جویی ماهرآباد را می‌توان به ۴ بخش تقسیم کرد: ۱- سنگ‌های آتشفشانی پیش از ائوسن میانی که توده‌های نیمه عمیق ائوسن میانی وابسته به کانی‌سازی در آن‌ها نفوذ کرده‌اند، ۲- توده‌های نیمه عمیق بیشتر حدواسط ائوسن میانی وابسته به کانی‌سازی در حد مونزونیت تا دیوریت که با شدت‌های مختلف دگرسان شده و دارای کانی‌سازی با مقادیر متفاوت‌اند این توده‌ها به صورت استوک‌های کوچک تا متوسط درهم تلسکوبی شده‌اند. بیش از ۱۵ واحد نیمه عمیق مرتبط با کانی‌سازی در کل منطقه شناسایی شده‌اند، ۳- توده‌های نیمه عمیق پس از ائوسن که در توده‌های وابسته به کانی‌سازی نفوذ کرده‌اند. این توده‌ها نیز از دیوریت تا مونزونیت متغیر بوده و کاملاً تازه‌اند، و

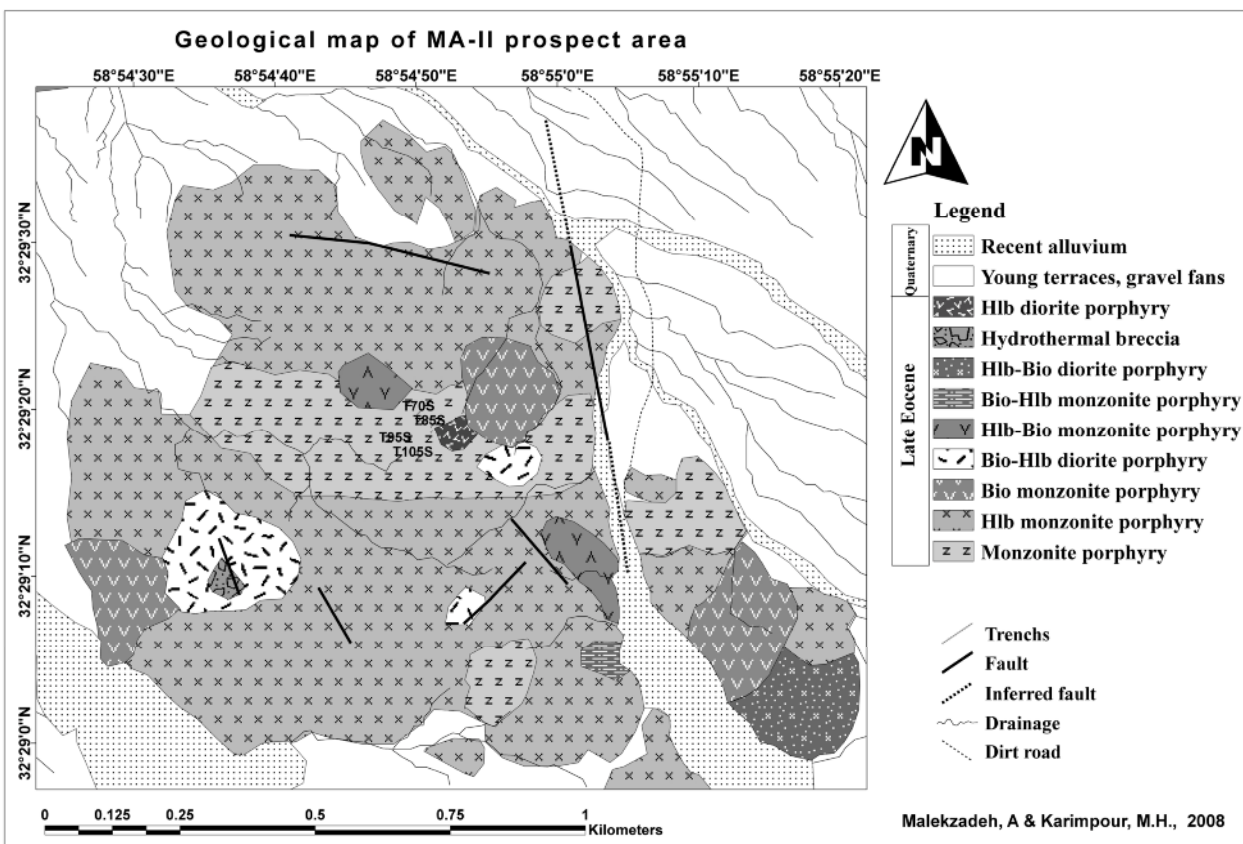
دارای بافت پورفیری و فنوکریست‌هایی از پلاژیوکلاز و فلدسپات پتاسیم است. ۱۰ تا ۱۲ درصد پلاژیوکلاز و ۱۲ تا ۱۳ درصد از فلدسپات پتاسیم فنوکریست‌های سنگ هستند. زمینه سنگ شامل کانی‌های فنوکریست، کانی‌های فرعی مانند مگنتیت و زیرکان و کانیهای دگرسان است. این واحد به شدت تحت تاثیر کوارتز-سرسیت-پیریت دگرسان قرار گرفته‌اند که با آرژلیک ثانویه دگرسان پوشیده شده‌اند. کوارتز ثانویه هم در متن سنگ و هم در غالب رگچه گاه تا بیش از ۷۰ درصد سنگ را شامل می‌شود. فلدسپات‌ها به سرسیت و به دنبال آن کانی-های رسی برون را تجزیه شده‌اند. کانی‌سازی نیز به صورت داربستی و پراکنده و بیشتر شامل پیریت و کمی کالکوپیریت در سطح دیده می‌شود. بخش بیشتر کانی‌های سولفیدی به اکسیدهای آهن ثانویه مانند هماتیت و گوتیت اکسیده شده‌اند. بیشترین تراکم رگچه در این توده در حد ۲۵ تا ۳۰ رگچه در مترمربع است.

اثری از کانی‌سازی و دگرسانی در آن‌ها دیده نمی‌شود، و ۴- ته نشست‌های کواترنری.

واحدهای سنگی مشاهده شده در گستره پی‌جویی MA-II شامل توده‌های نفوذی وابسته به کانی‌سازی و ته نشست‌های کواترنری است و سنگ‌های آتشفشانی و توده‌های پس از کانی‌سازی در این بخش رخمون ندارند (شکل ۲).

واحدهای وابسته به کانی‌سازی ائوسن فوقانی در این گستره را می‌توان به ۹ واحد سنگی تقسیم کرد که عبارتند از: مونزونیت پورفیری، هورنبلند مونزونیت پورفیری، بیوتیت مونزونیت پورفیری، بیوتیت هورنبلند دیوریت پورفیری، هورنبلند بیوتیت مونزونیت پورفیری، بیوتیت هورنبلند مونزونیت پورفیری، هورنبلند بیوتیت دیوریت پورفیری، برش گرمابی و هورنبلند دیوریت پورفیری (شکل ۲).

مونزونیت پورفیری یکی از مهم‌ترین واحدهای وابسته به کانی-سازی در گستره ماهرآباد است که در این ناحیه در ۴ بخش و بیشتر در بخش مرکزی رخمون دارد (شکل ۲). که



شکل ۲ نقشه زمین‌شناسی گستره پی‌جویی MA-II

هورنبلند مونزونیت پورفیری یکی دیگر از واحدهای مهم وابسته به کانی‌سازی است که بیشترین رخمون را در MA-II دارد (شکل ۲). این توده نیز با فنوکریست‌هایی از پلاژیوکلاز، فلدسپات پتاسیم، هورنبلند و گاهی کوارتز که مقدار آن گاهی تا ۴۰ درصد می‌رسد، مشخص می‌شود. زمینه سنگ دارای کانی‌های فنوکریست، کانی‌های فرعی مانند مگنتیت، زیرکان و آپاتیت و کانی‌های دگرسان است. دگرسان مهم در این واحد کوارتز- سرسیت- پیریت است که با زون آرژلیک برون زا پوشیده شده است. تراکم رگچه‌های کانی‌سازی تا ۱۵ رگچه در یک مترمربع می‌رسد. در برخی از بخشها نیز پروپلیتیک دگرسان شامل کلریت، اپیدوت و کلسیت و دگرسان کربناتی شامل کلسیت، کوارتز و کمی کلریت است.

رخمون‌هایی از بیوتیت مونزونیت پورفیری در بخش‌های مختلف MA-II دیده می‌شوند (شکل ۲). این واحد دارای بافت پورفیری بوده و شامل ۲۰ تا ۲۵ درصد پلاژیوکلاز (آندزین)، ۹ تا ۱۰ درصد فلدسپات پتاسیم، ۴ تا ۵ درصد بیوتیت و به ندرت تا ۰/۵ درصد کوارتز است. مگنتیت، زیرکان و آپاتیت مهم‌ترین کانی‌های فرعی هستند. زمینه سنگ شامل فلدسپات‌ها، کوارتز، بیوتیت، کانی‌های فرعی و کانی‌های ثانویه مثل کوارتز، کلریت، اپیدوت، کلسیت است. این واحد در این بخش از ماهرآباد بیشتر تحت تاثیر و پروپلیتیک دگرسان و کمتر کوارتز- سرسیت- پیریت قرار گرفته است.

بیوتیت هورنبلند دیوریت پورفیری رخمون‌های نسبتاً کوچک تا متوسطی در MA-II دارد (شکل ۲). بافت سنگ پورفیری بوده و فنوکریست‌های آن شامل ۲۵ تا ۲۷ درصد پلاژیوکلاز (آندزین تا لابرادوریت)، ۲ تا ۳ درصد فلدسپات پتاسیم، تا ۱۰ درصد هورنبلند و ۲ تا ۵ درصد بیوتیت است. زمینه سنگ نیز شامل کانی‌های یادشده، کانی فرعی مگنتیت و کمی کانی‌های دگرسان است. این واحد در MA-II دارای پروپلیتیک دگرسان ضعیف تا است. مهم‌ترین کانی‌های ثانویه آن کلریت و کمی اپیدوت است.

هورنبلند بیوتیت مونزونیت پورفیری دو رخمون کوچک در مرکز و شرق گستره پی‌جویی MA-II دارد (شکل ۲). این توده نیز دارای بافت پورفیری با زمینه نسبتاً درشت است. فنوکریست‌های سنگ شامل ۳۵ تا ۴۰ درصد پلاژیوکلاز، فلدسپات پتاسیم، بیوتیت، هورنبلند و به ندرت کوارتز است.

مگنتیت تنها کانی فرعی است. در بخش مرکزی، این توده تحت تاثیر کوارتز- سرسیت- پیریت دگرسان و در بخش شرقی تحت تاثیر پروپلیتیک دگرسان شده است.

رخمون بسیار کوچکی از بیوتیت هورنبلند مونزونیت پورفیری در جنوب شرقی MA-II دیده می‌شود (شکل ۲) که تحت تاثیر کوارتز- سرسیت- پیریت دگرسان قرار گرفته است. بافت آن پورفیری با ۱۰ تا ۱۲ درصد پلاژیوکلاز (آندزین)، ۱۰ تا ۱۲ درصد فلدسپات پتاسیم، ۳ تا ۴ درصد هورنبلند و ۲ تا ۳ درصد بیوتیت به صورت فنوکریست است. زیرکان و اسفن کانی‌های فرعی هستند. علاوه بر کانی‌های یاد شده، زمینه سنگ شامل کوارتز ثانویه و سرسیت و گاهی حاصل تبدیل ۱۰۰٪ فلدسپات‌هاست. کانی‌های سولفیدی بیشتر پیریت در قالب رگچه‌ای یا پراکنده است.

هورنبلند بیوتیت دیوریت پورفیری در جنوب شرقی منطقه رخمون دارد (شکل ۲). بافت آن پورفیری تا گلوپورفیری با ۴۵ تا ۴۷ درصد فنوکریست است. پلاژیوکلاز، فلدسپات پتاسیم، بیوتیت و هورنبلند فنوکریست‌ها را تشکیل می‌دهند. زمینه سنگ شامل کانی‌های یاد شده، کانی فرعی مگنتیت و کانی‌های ثانویه کلریت، اپیدوت و کلسیت است. بیوتیت ۱۰٪ به کلریت، کمی اپیدوت و کلسیت تبدیل شده‌اند. کمی اپیدوت و کلسیت نیز از پلاژیوکلازهای دگرسان حاصل شده است.

برش گرمایی یکی از انواع کانی‌سازی تشکیل شده در منطقه پی‌جویی ماهرآباد است. این واحد رخمون کوچکی در غرب MA-II دارد (شکل ۲). قطعات ریز و درشت زاویه‌داری از ۱ تا ۵۰ سانتیمتر شامل توده‌های نیمه عمیق وابسته به کانی- سازی دگرسان و رگچه‌های کوارتز- سولفیدی با یک سیمان سیلیسی با مقدار کمی سولفید با پیریت بالا به هم وصل شده‌اند.

هورنبلند دیوریت پورفیری رخمون بسیار کوچکی تقریباً در مرکز گستره دارد (شکل ۲). بافت واحد پورفیری بوده و ۲۰ تا ۲۵ درصد فنوکریست شامل پلاژیوکلاز (آندزین)، فلدسپات پتاسیم و هورنبلند دارد. کانی‌های زمینه سنگ علاوه بر فلدسپات و هورنبلند شامل کانی فرعی مگنتیت و کانی‌های ثانویه کوارتز، سرسیت، کانی‌های رسی برون‌زا و کمی پیریت است. گاهی رگچه‌های ظریف کوارتز- سولفیدی در آن دیده می‌شود.

دگرسانی

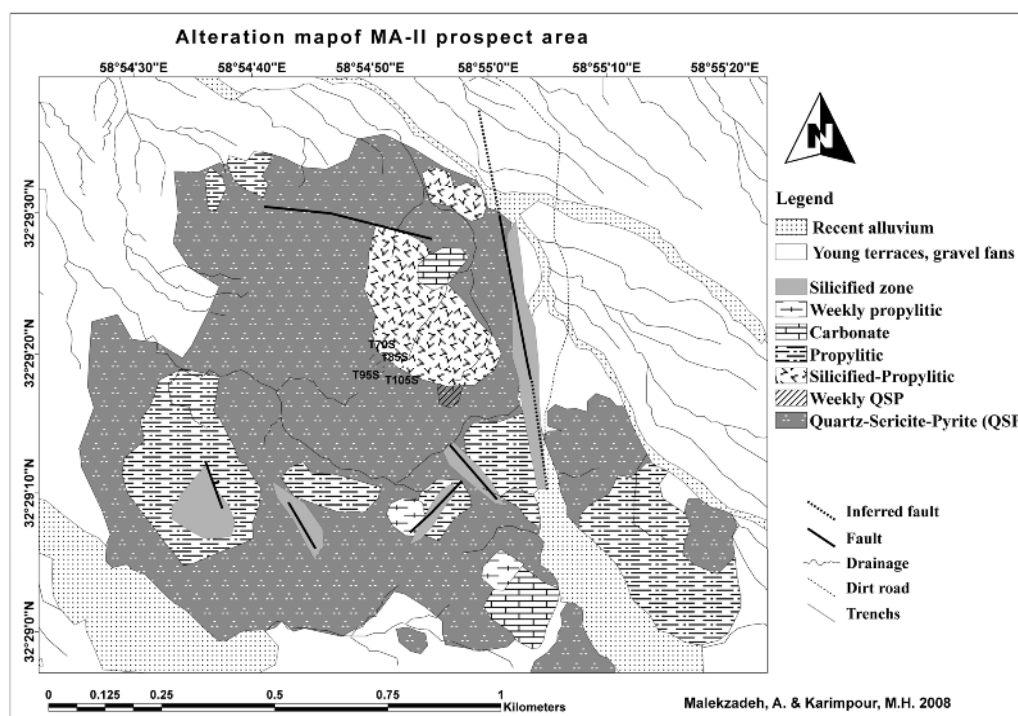
براساس بررسی‌های صحرایی و آزمایشگاهی ۵ نوع دگرسانی در گستره پی جویی MA-II تفکیک شدند که عبارتند از: (۱) زون کوارتز- سرسیت- پیریت، (۲) زون سیلیسی- پروپلیتیک، (۳) زون پروپلیتیک، (۴) زون کربناتی و (۵) زون سیلیسی (شکل ۳). دگرسانی غالب در MA-II زون کوارتز- سرسیت- پیریت است که بخش بزرگ واحدهای سنگی را تحت تاثیر قرار داده است. بیشتر واحدهای مونزونیت پورفیری، هورنبلند مونزونیت پورفیری و بیوتیت مونزونیت پورفیری تحت تاثیر این دگرسانی قرار گرفته‌اند (شکل ۳). این زون در صحرا با رنگ زرد روشن مایل به کمی قهوه‌ای، به علت حضور اکسیدهای آهن ثانویه حاصل از اکسایش سولفیدها در سطح زمین، مشخص می‌شود. شدت این دگرسانی در بخش‌های مختلف متفاوت است. بیشترین شدت در مرکز این ناحیه و در محل ترانشه‌ها دیده می‌شود. مهم‌ترین کانی این دگرسانی کوارتز است که در قالب رگچه و یا در متن سنگ مشاهده می‌شود. مقدار آن از کمتر از ۱۰ درصد تا بیش از ۷۰ درصد متفاوت است. سرسیت که حاصل دگرسانی فلدسپات‌هاست از کمتر از ۱ درصد تا ۲۰ درصد متغیر است. پیریت به عنوان مهم‌ترین کانی سولفیدی این زون عمدتاً در رگچه‌هاست و تا ۶ درصد می‌رسد که غالباً در سطح زمین به گوتیت و گاه ژاروسیت تبدیل شده است. کالکوپیریت دومین کانی سولفیدی مهم این زون است که در سطح زمین اغلب به اکسیدهای آهن ثانویه تبدیل شده است. بیشترین تراکم رگچه‌های کانی‌سازی در این زون مشاهده می‌شود که برخی از آن‌ها تا بیش از ۶۰ رگچه در مترمربع می‌رسد. عرض رگچه‌ها نیز از کمتر از ۱ میلیمتر تا بیش از ۳ سانتیمتر متغیر است. براساس کانی‌شناسی رگچه‌ها و روابط قطع‌شدگی آن‌ها، ۴ نوع رگچه تفکیک شدند که ترتیب پاراژنتیکی آن‌ها به صورت زیر است: (۱) کوارتز، (۲) کوارتز- پیریت، (۳) کوارتز- پیریت- کالکوپیریت، و (۴) پیریت- کالکوپیریت $\pm$ کوارتز.

دگرسانی سیلیسی- پروپلیتیک بیشتر در شمال- شمال شرق گستره MA-II دیده می‌شود (شکل ۳). این زون در صحرا با رنگ سبز، به علت حضور کانی‌هایی مثل کلریت و اپیدوت و وجود رگچه‌های کوارتز- سولفیدی ظریف، مشخص می‌شود. اولین کانی مهم این زون کوارتز است که به صورت

رگچه و یا در متن سنگ مشاهده می‌شود. مقدار آن از ۲ تا ۱۵ درصد متغیر است. کلریت دومین کانی مهم است که فراوانی آن تا ۴ درصد می‌رسد. کلسیت تا ۳ درصد، اپیدوت کمتر از ۲ درصد و مقادیر جزئی سرسیت، دیگر کانی‌های ثانویه این زون هستند. کلریت، اپیدوت و کلسیت بیشتر حاصل دگرسانی کانی‌های آهن و منیزیم‌دار مثل هورنبلند و بیوتیت و کمتر پلاژیوکلازهاست. کانی‌های فلزی این زون بیشتر مگنتیت (کمتر از ۱ درصد) و پیریت (کمتر از ۲ درصد) است. تراکم رگچه‌ها در این بخش حداکثر به ۵ رگچه در مترمربع می‌رسد و ضخامت آن‌ها از ۳ میلیمتر کمتر است. ۴ نوع رگچه براساس ترکیب کانی‌شناسی در این زون تفکیک شدند که ترتیب پاراژنتیکی آن‌ها بدرستی مشخص نیست. این رگچه‌ها عبارتند از: کوارتز- پیریت $\pm$ کالکوپیریت، کوارتز- پیریت $\pm$ مگنتیت، کوارتز- پیریت- کلریت، کوارتز- مگنتیت.

پروپلیتیک دگرسان بیشتر در جنوب، جنوب شرقی و جنوب غربی گستره MA-II دیده می‌شود (شکل ۳). رنگ سبز این زون با شدتی بیشتر از زون سیلیسی- پروپلیتیک نشان دهنده این دگرسانی است. البته شدت این دگرسانی در بخش‌های مختلف متفاوت است به طوریکه در بخش‌هایی در نقشه پروپلیتیک ضعیف معرفی شده است. کانی‌های اصلی این زون شامل کلریت، کلسیت، اپیدوت و مگنتیت بوده که با مقادیر جزئی کوارتز و سرسیت همراه است. مقدار این کانی‌ها در نقاط مختلف فرق دارد. کلریت از کمتر از ۱ تا بیش از ۶ درصد، کلسیت از ۲ تا ۱۵ درصد، اپیدوت از کمتر از ۱ تا ۵ درصد و مگنتیت از کمتر از ۱ تا ۳ درصد متغیر است. بیشتر این کانی‌ها حاصل دگرسان شدن کانی‌های آهن و منیزیم‌دار و پلاژیوکلازهاست. کانی‌سازی چه به صورت رگچه‌ای و چه به صورت پراکنده در این زون دیده نمی‌شود.

دگرسانی کربناتی در دو بخش از جنوب و شمال MA-II مشاهده می‌شود (شکل ۳). این زون با فراوانی کلسیت گاه تا بیش از ۶۰ درصد مشخص می‌شود که حاصل دگرسان شدن هورنبلند، بیوتیت و پلاژیوکلاز است. کوارتز تا حداکثر ۱۰ درصد دومین کانی مهم این زون است. مقادیر جزئی سرسیت و اپیدوت از کانی‌های دیگر را تشکیل می‌دهند. پیریت تا کمتر از ۱ درصد کانی سولفیدی این زون است.



شکل ۳ نقشه آلتراسیون محدوده اکتشافی MA-II.

کانی‌سازی

کانی‌های سولفیدی مهمی که در سطح پسترز MA-II دیده می‌شوند بیشتر شامل پیریت و به مقدار کمتر کالکوپیریت است. بیش از ۸۵ درصد این کانی‌ها به اکسیدهای آهن ثانویه مانند هماتیت، گوتیت و ژاروسیت تبدیل شده‌اند. ملاکیت نیز کانی دیگر زون اکسیدان است که به مقدار کمتر از ۱ درصد در شرق گستره مورد بررسی مشاهده می‌شود. کانی‌سازی در گستره MA-II به سه حالت صورت می‌گیرد که عبارتند از: داربستی، پراکنده و برش گرمایی. بخش بزرگ کانی‌های سولفیدی در زون کوارتز-سرسیت-پیریت و مقدار کمی از آن در زون سیلیسی-پروپلیتیک دیده می‌شوند.

کانی‌سازی داربستی مهم‌ترین بافت کانی‌سازی در کل منطقه پی‌جویی ماهرآباد است. از آنجایی که نقشه‌برداری توزیع و فراوانی انواع رگچه کوارتز وسیله مناسبی در پیشگویی نسبت Cu/Au و عیار طلاست [۱۷] و نقشه‌برداری توزیع رگچه‌ها در برخی کانسارها برای پی‌جویی زون با بهترین عیار درون‌زا انجام گرفته است [۱۸ - ۲۲]، نقشه تراکم رگچه‌ها به تفکیک زون‌های دگرسان در منطقه MA-II تهیه شد (شکل ۴).

دگرسانی سیلیسی در این گستره در دو بخش مشاهده می‌شود (شکل ۳). بخشی در برش گرمایی غرب منطقه که سیلیس و پیریت به عنوان سیمان قطعات برش هستند. با توجه به قطعات برش که بیشتر از توده‌های مونزونیتی با آلتراسیون کوارتز-سرسیت-پیریت دگرسان همراه بوده و اثری از قطعات پروپلیتیکی شده مشاهده نمی‌شود، به نظر می‌رسد که این برش پیش از تشکیل زون‌های پروپلیتیکی تشکیل شده است. بخشی دیگر از زون سیلیسی در زون‌های گسلی گستره مشاهده می‌شود. روابط صحرایی نشان می‌دهد که این بخش از دگرسانی در مراحل نهایی فعالیت‌های گرمایی تشکیل شده است. کوارتز در این بخش‌ها تا بیش از ۹۰ درصد است و پیریت تا ۳ - ۴ درصد می‌رسد.

لازم به یادآوری است که علاوه بر دگرسانی‌های نامبرده یک دگرسانی آرژلیک ثانویه در اثر هوازدگی سطحی و اکسایش کانی‌های سولفیدی و به پیروی از آن اسیدی شدن محیط در زون کوارتز-سرسیت-پیریت صورت گرفته است که در نتیجه آن فلدسپات‌ها و سرسیت‌ها به کانی‌های رسی درون‌زا مانند کائولینیت، ایلیت و دیکیت تبدیل شده‌اند.

رگچه‌های کوارتز- سولفیدی با تراکم بسیار بالا (حداکثر ۳۰ رگچه در مترمربع) در سطح زمین به روشنی قابل مشاهده‌اند. بخش بزرگ این رگچه‌ها در زون کوارتز- سرسیت- پیریت و به مقدار بسیار کمتر در زون سیلیسی- پروپلیتیک حضور دارند (شکل ۴). در زون کوارتز- سرسیت- پیریت ۴ نوع رگچه براساس ترکیب کانی‌شناسی و ترتیب پاراژنتیکی تفکیک شدند که عبارتند از: (۱) کوارتز، (۲) کوارتز- پیریت، (۳) کوارتز- پیریت- کالکوپیریت، و (۴) پیریت- کالکوپیریت $\pm$ کوارتز. ضخامت این رگچه‌ها از کمتر از ۱ میلی‌متر تا بیش از ۳ سانتیمتر متغیر است. ضخامت از رگچه شماره ۱ به سمت رگچه شماره ۳ (رگچه‌های جوانتر) افزایش می‌یابد. ولی رگچه بیشتر سولفیدی شماره ۴ معمولاً کمتر از ۳ میلی‌متر ضخامت دارد. تراکم رگچه‌های ۱ و ۲ از کمتر از ۱ تا ۱۰ رگچه در مترمربع متغیر است. رگچه شماره ۳ نیز بیشترین تراکم را در مرکز منطقه دارد که به ۲۰ رگچه در مترمربع می‌رسد (شکل ۴). پراکندگی رگچه شماره ۴ به درستی مشخص نیست. علت آن اینست که بخش بیشتر آن اکسیده شده است. پیریت مهم- ترین کانی سولفیدی در رگچه‌هاست. پیریت‌ها بیشتر شکل‌دار تا نیمه شکل‌دارند. اندازه آن‌ها از کمتر از ۵۰ میکرون تا بیش از ۶۰۰ میکرون متغیر است. این کانی از ۰/۲ تا ۲ درصد کل رگچه را تشکیل می‌دهد. در کل گستره نیز پیریت از کمتر از ۰/۱ درصد تا حداکثر ۲ درصد دیده می‌شود (شکل ۵). بیش از ۸۵ درصد پیریت‌ها به گوتیت و کمتر ژاروسیت تبدیل شده‌اند. رابطه مستقیمی بین افزایش تراکم رگچه شماره ۳ و افزایش مقدار پیریت دیده می‌شود (شکل‌های ۴ و ۵). پیریت‌ها بیشتر در وسط رگچه‌ها وجود دارند که حالتی از بافت پرکننده فضای خالی را تداعی می‌کنند. در این بخش‌ها نخست کوارتز و سپس پیریت تشکیل شده است. از طرفی در برخی نمونه‌ها هم‌رشدی بین کوارتز و پیریت دیده می‌شود. در مجموع به نظر می‌رسد پیریت هم‌زمان تا کمی پس از کوارتز در رگچه‌ها تشکیل شده است. مقدار کالکوپیریت کمتر از ۰/۱ درصد در رگچه‌هاست. این کانی بی‌شکل بوده و اندازه آن‌ها کمتر از ۷۰ میکرون است. بخش بیشتر آن‌ها به هماتیت و گوتیت تبدیل شده‌اند.

تراکم رگچه‌ها در زون سیلیسی- پروپلیتیک از کمتر از یک رگچه در مترمربع برای رگچه‌های کوارتز- پیریت $\pm$ کالکوپیریت و کوارتز- پیریت $\pm$ مگنتیت تا مقدار ۲ تا ۵ رگچه برای رگچه

کوارتز- مگنتیت در مترمربع متغیر است (شکل ۴). ضخامت همه رگچه‌ها در این زون کمتر از ۳ میلی‌متر است. پیریت در این بخش کمتر از ۰/۲ درصد است. این کانی نیمه شکل‌دار بوده و اندازه آن حداکثر ۲۰۰ میکرون است. کالکوپیریت با اندازه کمتر از ۳۰ میکرون، به ندرت و در مقادیر کمتر از ۰/۱ درصد دیده می‌شود. مگنتیت در این زون بیشتر شکل‌دار بوده و اندازه آن تا ۴۰۰ میکرون می‌رسد. مقدار مگنتیت در رگچه کمتر از ۰/۱ درصد است. اغلب مگنتیت‌ها به صورت پراکنده در این زون مشاهده می‌شوند.

کانی‌سازی سولفیدی پراکنده (افشان)، در زون‌های دگرسان کوارتز- سرسیت- پیریت و سیلیسی- پروپلیتیک مشاهده می‌شود و بیشتر شامل پیریت (تا ۰/۳ درصد) است. علاوه بر این زون‌ها، دگرسانی‌های کربناتی و سیلیسی نیز حاوی حدود ۰/۲ تا ۰/۵ درصد پیریت به صورت پراکنده هستند. زون‌های گسلی سیلیسی شده (که معرف آخرین فعالیت‌های گرمایی‌ها در ناحیه هستند) دارای پیریت‌های ریزدانه (تا ۲۰۰ میکرون) پراکنده تا ۰/۵ درصد هستند.

نوع دیگر کانی‌سازی در برش‌های گرمایی بوده که گسترش کوچکی در غرب منطقه دارند (شکل ۲). این برش‌ها شامل قطعاتی از توده‌های وابسته به کانی‌سازی به ویژه واحدهای مونزونیتی و نیز رگچه‌های کوارتز است که بوسیله یک سیمان سیلیسی با مقدار کمی سولفید (بیشتر پیریت) به هم وصل شده‌اند. اندازه برش‌ها از ۱ تا ۵۰ سانتیمتر متغیر است. مقدار پیریت در این بخش‌ها کمتر از ۰/۱ درصد بوده و به صورت ریز دانه‌های (تا ۱۰۰ میکرون) شکل‌دار تا نیمه شکل‌دار دیده می‌شوند و اغلب به گوتیت اکسید شده‌اند.

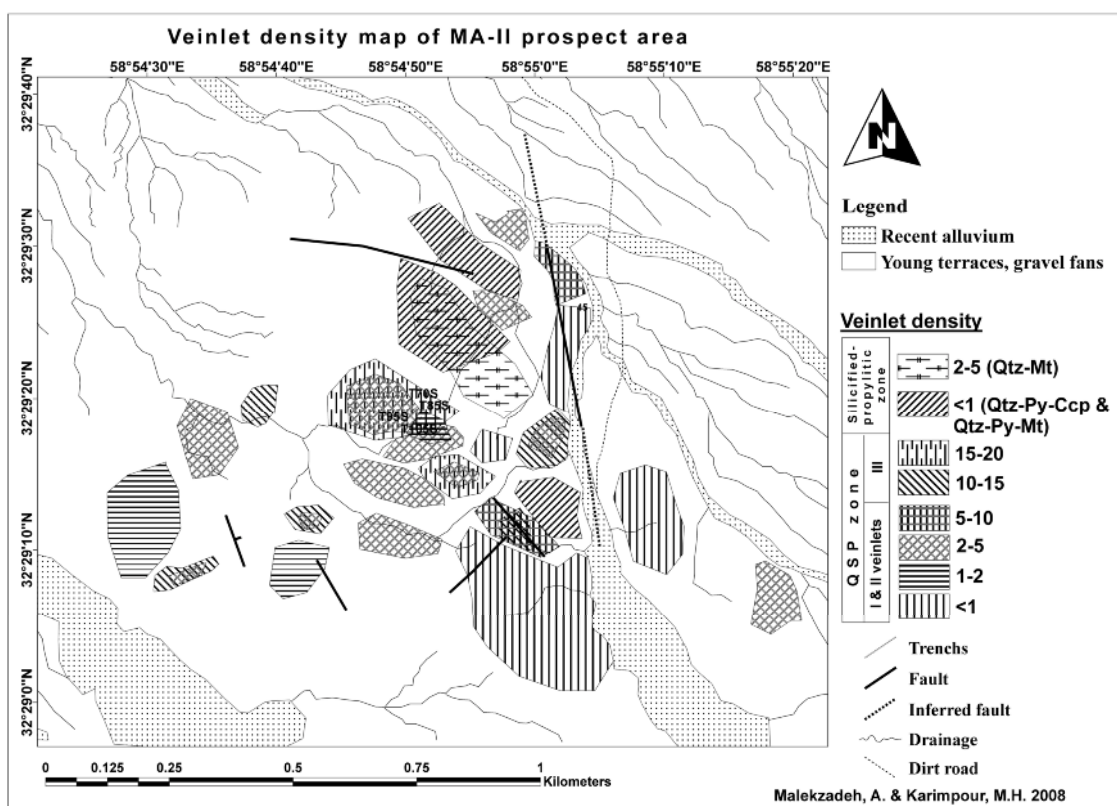
شکل (۶) دنباله پاراژنز و رابطه زمانی کانی‌های فلزی درون‌زا و کانی‌های حاصل از دگرسانی را به تفکیک زون‌های دگرسانی نشان می‌دهد. روابط صحرائی و بررسی‌های آزمایشگاهی نشان می‌دهند که زون کوارتز- سرسیت- پیریت قدیمی‌ترین دگرسانی در منطقه است. پس از آن زون سیلیسی- پروپلیتیک حفاصل بین زون کوارتز- سرسیت- پیریت و زون پروپلیتیک را تشکیل می‌دهد. در نهایت نیز زون کربناتی و سپس زون سیلیسی بیشتر در زون‌های گسلی به وجود آمده‌اند. پیریت در زون کوارتز- سرسیت- پیریت، کمی بعد و هم‌زمان با کوارتز تشکیل شده و بیشترین مقدار آن در

در این ناحیه هستند. به دلیل اکسیده شدن کانی‌های سولفیدی، میزان اکسیدهای آهن ثانویه حاصل از سولفیدها و تهیه نقشه توزیع آن در سطح (شکل ۵)، یک پارامتر مهم پی-جویی در کانسارهای سولفیدی است.

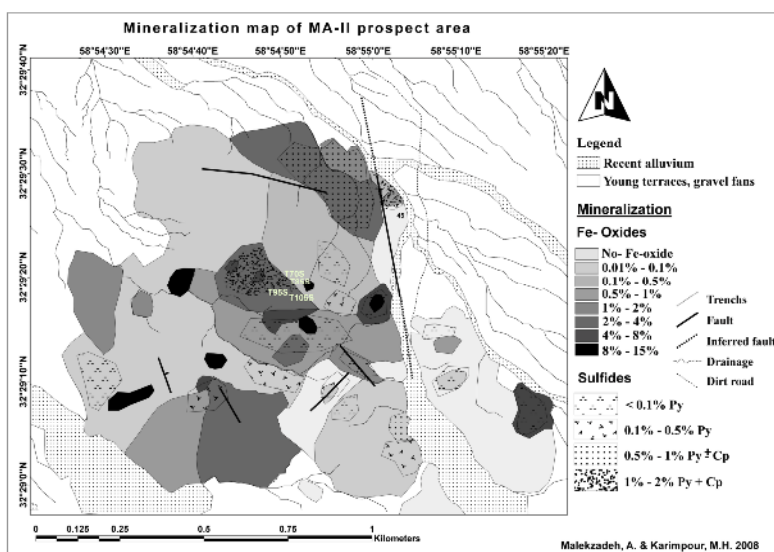
مقدار اکسیدهای آهن ثانویه از کمتر از ۰/۰۱ تا ۱۵ درصد در سطح متغیرند (شکل ۵). در مناطقی که میزان اکسیدهای آهن به ۸ تا ۱۵ درصد می‌رسد تنها رگچه‌های کوارتز به صورت بافت جعبه‌ای باقی مانده‌اند. رنگ این بخشها به علت حضور هماتیت فراوان قهوه‌ای تیره تا سیاه در صحرای به نظر می‌رسد که می‌تواند نشان‌دهنده تشکیل کانی‌های سولفیدی زیاد در این بخش‌ها باشد. در بخش مرکزی گستره پی جویی MA-II (محل ترانشه‌ها) که بیشترین تراکم رگچه‌ها و بیشترین مقدار پیریت و کالکوپیریت مشاهده می‌شود، مقدار اکسیدهای آهن ثانویه نیز بالاست (شکل ۵). شکل ۷ تصویری از کانی‌سازی داربستی را در نمونه دستی نشان می‌دهد.

این دگرسانی است. مقداری پیریت در زون سیلیسی-پروپلیتیک مشاهده می‌شود و مقدار آن به سمت زون پروپلیتیک کاهش یافته، به طوریکه در زون پروپلیتیک دیده نمی‌شود. کالکوپیریت دومین کانی سولفیدی تشکیل شده است که مقدار آن به سمت زون سیلیسی-پروپلیتیک کاهش یافته و در زون پروپلیتیک مشاهده نمی‌شود. مگنتیت تنها در زون‌های سیلیسی-پروپلیتیک و پروپلیتیک دیده می‌شود. کوارتز فراوانترین کانی دگرسان در منطقه است. سرسیت در بیشتر زون‌ها حضور دارد، ولی حداکثر آن در کوارتز-سرسیت-پیریت بوده و به سمت زون‌های دگرسان جوانتر به شدت کاهش می‌یابد. بیشترین مقدار کلریت و اپیدوت در زون پروپلیتیک است. کلسیت نیز در اکثر زون‌ها حضور دارد و مقدار آن به سمت زون کربناتی افزایش یافته است (شکل ۶).

بخش بیشتر کانی‌سازی سولفیدی در گستره MA-II دستخوش اکسایش شده است. کانی‌هایی مانند هماتیت، گوتیت، ژاروسیت و مالاکیت مهم‌ترین کانی‌های زون اکسیدان



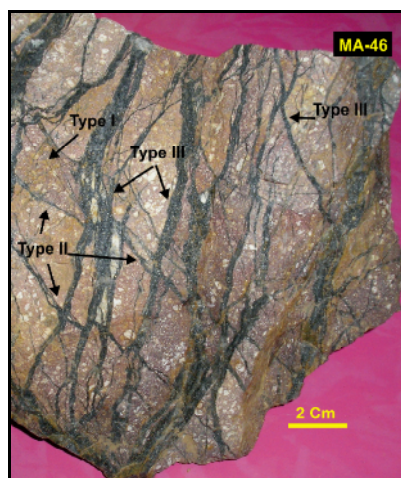
شکل ۴ نقشه تراکم رگچه گستره پی جویی MA-II



شکل ۵ نقشه مقدار اکسیدهای آهن برون‌زا حاصل از اکسایش سولفیدها و میزان سولفیدهای دیده شده در سطح گستره پی‌جویی MA-II

Minerals	QSP zone	Silicified-propylitic zone	Propylitic zone	Carbonate zone	Silicified zone
Pyrite	██████████	██████████			
Chalcopyrite	██████████				
Magnetite		██████████			
Quartz	██████████	██████████			██████████
Sericite	██████████				
Chlorite					
Epidote					
Calcite			██████████	██████████	

شکل ۶ دنباله پاراژنز کانی‌های فلزی درون‌زا و کانی‌های دگرسان در گستره پی‌جویی MA-II.



شکل ۷ کانی‌سازی استوک‌ورک در زون آلتراسیون کوارتز-سرسیت-پیریت.

ژئوشیمی

به منظور بررسی‌های ژئوشیمیایی تعداد ۹ نمونه به روش خردسنگی از سطح گستره پی‌جویی MA-II جمع‌آوری شدند. از آنجایی‌که شدت دگرسانی، تراکم رگچه‌ها و مقدار اکسیدهای آهن ثانویه حاصل از اکسایش سولفیدها در نیمه شرقی گستره بیشتر بود، لذا ۷ نمونه از ناحیه شرقی و تنها ۲ نمونه (MAG-17 و MAG-18) از جنوب غربی MA-II جمع‌آوری شده‌اند. همچنین از ۹ نمونه برداشت شده، ۷ نمونه متعلق به آلتراسیون کوارتز-سرسیت-پیریت دگرسان و ۲ نمونه (نمونه‌های MAG-12 و MAG-14) به آلتراسیون سیلیسی تاخیری دگرسان در زون‌های گسلی وابسته‌اند. نمونه‌های خردسنگی از یک سطح دایره یا مربع شکل به قطر ۶ متر یا ابعاد ۵ × ۵ متر جمع‌آوری و پس از آماده‌سازی برای تجزیه ۳۶ عنصر به آزمایشگاه ACME کانادا ارسال شد. در جدول (۱) تنها نتایج تجزیه ۷ عنصر مهم وابسته به این نوع کانی‌سازی ارائه شده است.

همچنین شرکت پارس کانه کیش [۲۳] تعداد ۴ ترانشه به طول حداکثر ۲۴ متر در مرکز گستره حفر کرده است که موقعیت و نام آن‌ها در نقشه‌های زمین‌شناسی، دگرسانی و کانی‌سازی آمده‌اند. این شرکت نیز از ۴ ترانشه حفر شده جمعاً تعداد ۲۸ نمونه خردسنگی در هر ۲ متر برداشت کرده و برای تجزیه به آزمایشگاه AMDEL استرالیا فرستادند که نتایج تجزیه ۷ عنصر مهم به تفکیک هر ترانشه در جدول (۲) آمده‌اند. بی‌هنجاری عناصر Cu, Au, Mo, As, Zn در منطقه قابل توجه است (جدول ۱). نتایج تجزیه نشان می‌دهد که دو عنصر مس و طلا بیشترین بی‌هنجاری را در منطقه دارند. نمونه‌های بخش شرقی گستره مورد نظر نسبت به دو نمونه جنوب غربی منطقه تفاوت چشم‌گیری را در همه عناصر به خصوص مس و طلا نشان می‌دهند. همچنین این اختلاف بین نمونه‌های برداشت شده از زون کوارتز-سرسیت-پیریت دگرسان با زون‌های سیلیسی تاخیری قابل ملاحظه است. به‌طوری‌که زون‌های سیلیسی تاخیری فاقد بی‌هنجاری مناسب‌اند. در نمونه‌های برداشت شده از زون کوارتز-سرسیت-پیریت بیشترین مقدار مس و طلا به ترتیب در نمونه‌های MAG-13، MAG-15 و MAG-16 که از گستره مرکزی MA-II و محل بیشترین تراکم رگچه‌ها برداشت شده‌اند، دیده می‌شود. به‌طوری‌که مس به ۱۰۷۳ گرم در تن و طلا به ۸۸۶ میلی گرم در تن رسیده است. این مسئله نشان می‌دهد که رابطه مستقیمی بین افزایش

تراکم رگچه‌ها به‌خصوص رگچه‌های شماره ۳ و ۴ در زون کوارتز-سرسیت-پیریت دگرسان با مقدار مس و طلا وجود دارد. مقدار مولیبدن در این کانی‌سازی بسیار پایین است و اهمیت خاصی ندارد، به‌طوری‌که حداکثر به ۵۴ گرم در تن می‌رسد. روی سومین عنصر قابل توجه در منطقه است. مقدار این عنصر به حداکثر ۵۳۱ گرم در تن در شرق گستره می‌رسد. به‌نظر می‌رسد که بی‌هنجاری روی منطبق تا کمی حاشیه‌ای نسبت به بی‌هنجاری مس و طلاست (جدول ۱).

نمونه‌های برداشت شده از ترانشه‌ها نیز اهمیت عناصر مس و طلا و سرب روی را در منطقه تأیید می‌کند. از آنجا که همه این نمونه‌ها از مرکز گستره و از محل بیشترین تراکم رگچه برداشت شده‌اند، همه آن‌ها دارای مقادیر قابل توجهی مس، طلا و روی هستند. مقدار مس از ۲۴۷ تا ۱۰۱۰ گرم در تن، طلا از ۱۱۳ تا ۷۵۶ میلی‌گرم در تن و روی از ۱۸۷ تا ۷۵۴ گرم در تن متغیر است. مقدار مولیبدن در ترانشه‌ها نیز بسیار پایین است. آرسنیک و سرب نیز خیلی مورد توجه نیستند. بالاترین بی‌هنجاری سرب (۱۳۳ گرم در تن) در محل بالاترین بی‌هنجاری روی مشاهده می‌شود. آنتیموان نیز بی‌هنجاری خاصی نشان نمی‌دهد (جدول ۲).

در مجموع دامنه تغییرات عناصر در گستره MA-II به صورت زیر است:

مس = ۲۲ تا ۱۰۷۳ گرم در تن، طلا = ۱۶ تا ۸۸۶ میلی گرم در تن، مولیبدن = ۵ تا ۵۴ گرم در تن، روی = ۴۰ تا ۷۵۴ گرم در تن، سرب = ۱۴ تا ۱۴۸ گرم در تن، آرسنیک = ۸ تا ۱۲۸ گرم در تن و آنتیموان = ۰/۱ تا ۹ گرم در تن.

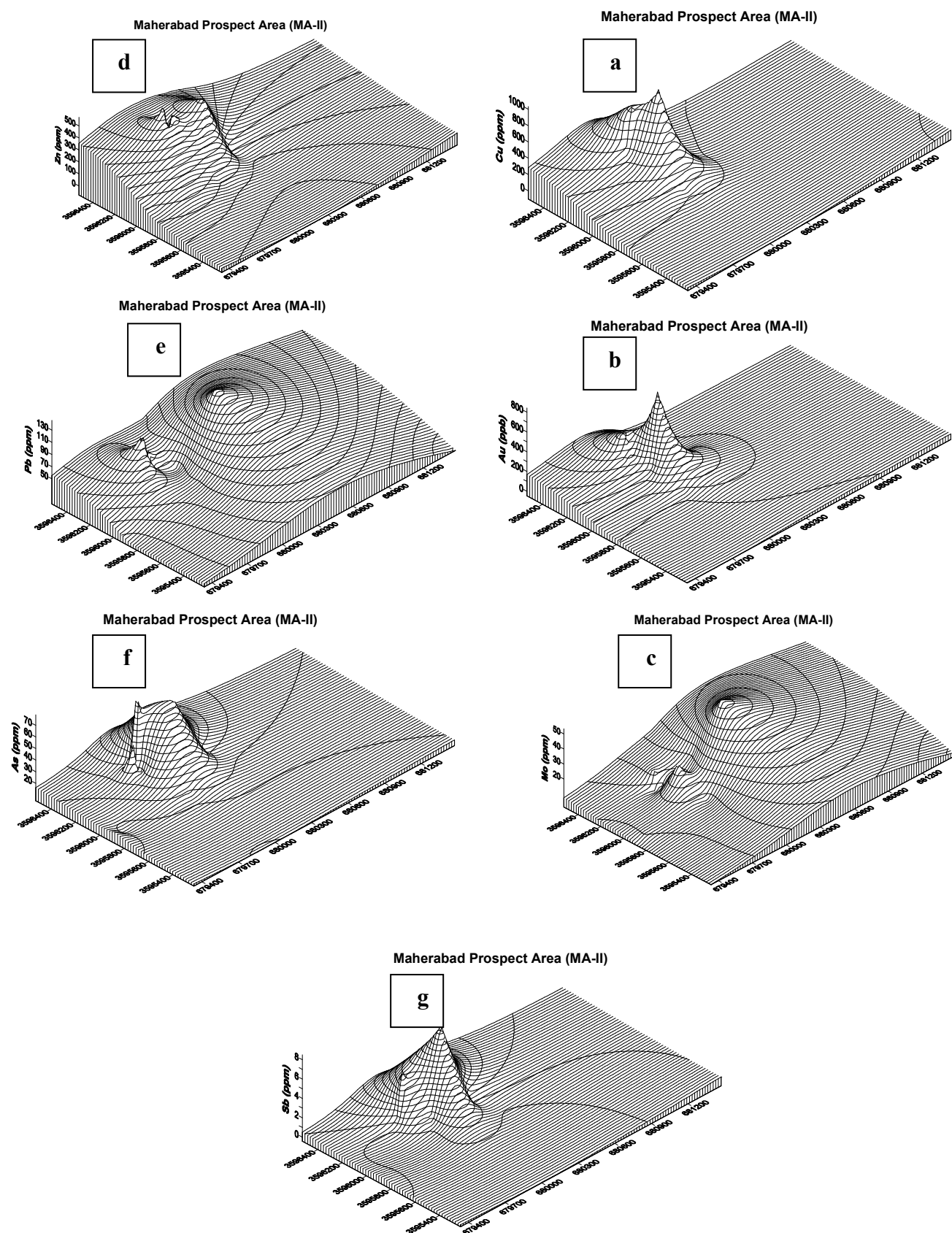
براساس نتایج تجزیه‌های انجام شده از سطح و ترانشه‌ها نقشه‌های سه‌بعدی ۷ عنصر مورد توجه در منطقه در نرم‌افزار Surfer رسم شد که در شکل (۸ a تا g) نشان داده شده است. چنانکه از نقشه‌های ژئوشیمی پیداست، بالاترین مقدار مس و طلا در مرکز سیستم دیده می‌شود و به سمت شرق و غرب از مقدار آن کاسته شده است (شکل‌های a & b). بالاترین مقدار مولیبدن (۵۴ گرم در تن) در شرق دیده می‌شود و به سمت گستره یاد شده در حال کاهش است (شکل ۸c). روی نیز بیشتر در مرکز گستره کمی منطبق بر بی‌هنجاری‌های مس و طلا تا حاشیه آن‌ها دیده می‌شود (شکل ۸d). سرب دو قله بی‌هنجاری اولی در شرق و بعدی در مرکز ناحیه نشان می‌دهد (شکل ۸e). آرسنیک در مرکز گستره و آنتیموان کمی به سمت شرق بیشترین مقادیر را دارند (شکل‌های f & g).

جدول ۱ نتایج تجزیه نمونه‌های ژئوشیمیایی برداشت شده از سطح در MA-II

شماره نمونه	موقعیت	ژون آلتراسیون	Au ppb	As ppm	Cu ppm	Mo ppm	Pb ppm	Sb ppm	Zn ppm
MAG-12	۶۷۹۹۵۳ ۳۵۹۵۸۷۹	سیلیسی	۳۰	۱۴	۳۳	۷	۵۱	۰/۲	۶۰
MAG-13	۶۷۹۹۷۸ ۳۵۹۶۱۰۹	کوارتز - سرسیت - پیریت	۸۸۶	۶۲	۱۰۷۳	۱۳	۴۱	۰/۳	۳۳۵
MAG-14	۶۸۰۱۰۹ ۳۵۹۶۵۳۶	سیلیسی	۸۹	۲۶	۱۴۸	۲۲	۶۸	۲	۳۸۳
MAG-15	۶۷۹۸۴۳ ۳۵۹۶۱۹۶	کوارتز - سرسیت - پیریت	۱۹۶	۲۶	۷۹۱	۹	۵۶	۰/۲	۴۸۵
MAG-16	۶۷۹۸۹۵ ۳۵۹۶۰۸۱	کوارتز - سرسیت - پیریت	۱۵۶	۴۲	۵۲۱	۲۶	۴۵	۰/۲	۳۳۱
MAG-17	۶۷۹۴۲۲ ۳۵۹۵۸۹۸	کوارتز - سرسیت - پیریت	۲۲	۸	۵۱	۵	۲۲	۰/۱	۹۰
MAG-18	۶۷۹۳۳۴ ۳۵۹۵۷۸۲	کوارتز - سرسیت - پیریت	۱۶	۱۵	۴۵	۲	۱۴	۰/۳	۶۸
MAG-19	۶۸۰۱۰۵ ۳۵۹۶۱۶۱	کوارتز - سرسیت - پیریت	۵۳	۶۹	۱۹۳	۲۱	۸۰	۹	۵۳۱
MAG-20	۶۸۰۲۶۰ ۳۵۹۶۰۶۴	کوارتز - سرسیت - پیریت	۱۲۶	۲۱	۲۲	۵۴	۱۴۸	۰/۵	۴۰

جدول ۲ نتایج تجزیه نمونه‌های ژئوشیمیایی برداشت شده از ۴ ترانشه موجود در MA-II (همگی در دگرسانی کوارتز - سرسیت - پیریت) (شرکت پارس کانه کیش، [۲۳])

شماره نمونه	طول (متر)		Au ppb	As ppm	Cu ppm	Mo ppm	Pb ppm	Sb ppm	Zn ppm
	از	تا							
T105S									
I00101	۰	۲	۲۵۷	۲۱	۵۲۵	۹	۵۴	۲	۵۶۵
I00102	۲	۴	۳۳۹	۶۸	۶۴۳	۱۰	۸۷	۲	۶۹۷
I00103	۴	۶	۱۱۳	۲۴	۲۴۷	۶	۳۶	۲	۳۴۲
I00104	۶	۸	۲۱۳	۲۰	۵۶۷	۱۰	۶۱	۳	۵۱۵
I00105	۸	۱۰	۳۰۷	۱۱	۷۰۹	۸	۵۵	۲	۶۰۱
T95S									
I00106	۰	۲	۲۸۲	۳۱	۶۷۸	۱۳	۴۴	۲	۵۴۷
I00107	۲	۴	۳۱۲	۱۶	۶۲۱	۱۱	۴۵	۲	۳۷۴
I00108	۴	۶	۳۶۳	۱۱۴	۹۱۱	۱۲	۶۲	۴	۴۹۳
T85S									
I00109	۰	۲	۳۴۰	۳۶	۴۵۴	۵	۴۹	۱	۱۸۷
I00110	۲	۴	۲۳۷	۱۹	۳۸۸	۶	۴۰	۰.۷	۲۴۷
I00111	۴	۶	۲۷۰	۵۸	۸۰۱	۵	۶۳	۳	۳۶۰
I00112	۶	۸	۱۸۹	۱۴	۵۳۲	۶	۳۵	۲	۲۸۷
I00113	۸	۱۰	۲۳۹	۳۴	۶۰۸	۱۵	۳۴	۲	۳۴۸
I00114	۱۰	۱۲	۲۱۸	۲۶	۶۱۸	۵	۳۵	۲	۳۶۶
I00115	۱۲	۱۴	۱۸۳	۲۶	۶۳۰	۸	۵۲	۲	۴۸۴
I00116	۱۴	۱۶	۲۹۷	۱۰	۷۰۸	۶	۴۴	۲	۴۰۰
I00117	۱۶	۱۸	۳۳۴	۲۴	۸۵۱	۹	۴۵	۲	۵۹۸
I00118	۱۸	۲۰	۴۰۵	۵۲	۹۴۷	۱۰	۴۵	۲	۵۰۸
I00119	۲۰	۲۲	۴۹۲	۴۷	۹۱۸	۱۴	۵۵	۲	۴۲۰
I00120	۲۲	۲۴	۲۷۳	۶۷	۶۵۷	۱۴	۸۹	۷	۴۰۵
T70S									
I00121	۰	۲	۱۸۶	۶۳	۴۸۵	۱۰	۱۳۳	۱	۷۵۴
I00122	۲	۴	۱۸۵	۶۸	۴۶۳	۱۵	۹۵	۱	۵۹۸
I00123	۴	۶	۲۳۳	۴۶	۶۶۴	۱۶	۵۲	۰.۹	۵۶۲
I00124	۶	۸	۲۸۴	۳۴	۸۲۱	۸	۴۳	۱	۵۷۰
I00125	۸	۱۰	۳۰۵	۱۶	۸۳۶	۱۰	۳۴	۰.۸	۴۵۸
I00126	۱۰	۱۲	۴۲۰	۱۲۸	۸۳۵	۲۳	۳۸	۲	۴۶۹
I00127	۱۲	۱۴	۷۵۶	۳۲	۱۰۱۰	۱۶	۲۹	۲	۳۵۷
I00128	۱۴	۱۶	۴۶۷	۲۶	۷۷۰	۱۸	۴۰	۱	۳۴۲



شکل ۸ نقشه ژئوشیمی تغییرات مس (a)، طلا (b)، مولیبدن (c)، روی (d)، سرب (e)، آرسنیک (f) و آنتیموان (g) در نیمه شرقی، مرکز و کمی از محدوده جنوب غربی محدوده MA-II

برداشت

کانی‌سازی در گستره پی جویی ماهرآباد و از جمله ناحیه MA-II وابسته به رشته ای از توده‌های نیمه عمیق حدواسط آهکی-قلیایی پورفیری در حد مونزونیت تا دیوریت است که به شکل استوک بوده و داخل یکدیگر نفوذ کرده‌اند. توده‌های مونزونیتی به دلیل اینکه به شدت دگرسان شده‌اند و بالاترین تراکم رگچه با بالاترین بی‌هنجاری‌های ژئوشیمیایی در آن‌ها دیده می‌شود، نقش اصلی در کانی‌سازی منطقه را داشته‌اند. دگرسانی در منطقه تا بیش از ۷۰ کیلومترمربع گسترش دارد و شامل زون‌های دگرسانی کوارتز-سرسیت-پیریت، سیلیسی-پروپلیتیک، پروپلیتیک، کربناته و سیلیسی است. زون کوارتز-سرسیت-پیریت دگرسان حدود ۴۰ کیلومترمربع از منطقه و از جمله گستره MA-II را تحت تاثیر قرار داده است. کانی‌سازی به شکل‌های داربستی، پراکنده و برش گرمابی مشاهده می‌شود. مهم‌ترین حالت کانی‌سازی بافت داربستی است. در برخی نقاط از گستره MA-II تا بیش از ۳۰ رگچه در یک مترمربع دیده می‌شود. رگچه‌ها بیشتر کوارتز و کوارتز-سولفیدی هستند که کانی‌های سولفیدی تحت تاثیر اکسایش شدید در سطح زمین قرار گرفته‌اند. وجود یک زون گوسان گسترده در سطح زمین و درصد اکسید آهن ثانویه که گاه تا ۱۵ درصد می‌رسد، حکایت از کانی‌سازی سولفیدی گسترده در منطقه دارد. تمامی این شواهد نشان می‌دهد که در گستره پی‌جویی ماهرآباد و از جمله ناحیه MA-II دگرسانی و کانی‌سازی‌هایی از نوع مس پورفیری رخ داده است. ظاهرشدن زون کوارتز-سرسیت-پیریت دگرسان در سطح زمین نشان می‌دهد که سنگ‌های میزبان دستخوش فرسایش شدیدی شده‌اند. مقدار مس در سطح زمین حدود ۰/۱ درصد است، هرچند که بخش زیادی از مس شستشو شده و به عیار واقعی آن در بخش‌های عمیق می‌توان پی‌برد. همبستگی مثبتی بین تراکم رگچه‌های کوارتز-سولفیدی و سولفیدی (رگچه‌های شماره ۲، ۳ و ۴ در زون کوارتز-سرسیت-پیریت دگرسان) با عیار مس و طلا وجود دارد. مولبدن این سیستم بسیار پایین است. ولی طلا به مقدار بسیار قابل توجهی حضور دارد (تا بیش از ۰/۸ گرم در تن). سیلتو [۲۴] عیار حد برای کانسارهای مس پورفیری غنی از طلا و فقیر از طلا را مقدار ۰/۴ گرم در تن طلا معرفی می‌کند.

همچنین سیلتو [۲۵] عیار طلا بین ۰/۱-۰/۳ گرم در تن را جزء ذخایر Cu-Au پورفیری معرفی می‌کند. با توجه به همه پی-جویی‌های صحرایی و بررسی‌های آزمایشگاهی گستره پی‌جویی ماهرآباد، یک ذخیره مس-طلا پورفیری است. این کانسار برخلاف معمول ذخایر مس-طلای پورفیری، کوارتز-سرسیت-پیریت دگرسان گسترده‌ای دارد. قطعاً حفاری و بررسی‌های زیر زمینی در آینده در این منطقه می‌تواند جنبه‌های روشن‌تری از مس-طلا پورفیری بودن آن را تایید کند و آمار دقیق‌تری از میزان ذخیره و عیار به دست دهد.

گستره پی‌جویی ماهرآباد اولین کانی‌سازی نوع مس پورفیری در شرق ایران و بلوک لوت است که پی‌جویی شده و از جنبه‌های مختلف مورد بررسی‌های دقیق نویسندگان قرار گرفته است. شواهد دیگری از این نوع کانی‌سازی در این ناحیه مانند مناطق پی‌جویی رحیمی، ده سلم، چاه‌شلغمی، سرخ کوه و غیره دیده می‌شود که با توجه به رخداد فروانش روی داده است، بین لوت و افغان و ماگماتیسیم گسترده‌ای که شمال بلوک لوت را تحت تاثیر قرار داده است، دور از انتظار نیست. پیگیری پی‌جویی این کانسارها در شرق بلوک لوت می‌تواند کمربند مهم دیگری از ذخایر مس پورفیری را در ایران شناسایی کند.

مراجع

- [1] Stocklin J., Nabavi M.H., "Tectonic map of Iran", Geological Survey of Iran (1973).
- [۲] امامی م.ه.، "ماگماتیسیم در ایران"، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، شماره ۷۱، ۱۳۷۹) ۶۲۲ صفحه.
- [3] Camp V., Griffis R., "Character, genesis and tectonic setting of igneous rocks in the Sistan suture zone, eastern Iran", Lithous 15 (1982) 221-239.
- [4] Tirrul R., Bell I.R., Griffis R.J., Camp V.E., "The Sistan suture zone of eastern iran", Geolc. Soc. Am. Bull 94 (1983) 134-156.
- [۵] افتخارنژاد ج.، "مطالعی چند درباره تشکیل حوضه رسوبی فلش در شرق ایران و توجیه آن با تئوری تکتونیک صفحه‌ای"، گزارش شماره ۲۲، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور (۱۳۵۲).

- [۱۶] وثیق ح.، سهیلی م.، "نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ سرچاه‌شور (برگه ۷۷۵۴)"، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور (۱۳۵۴).
- [17] Muntean J.L., Einaudi M.T., "Porphyry gold deposits of the Refugio district, Maricunga belt, northern Chile", *Economic Geology* 95 (2000) 1445-1472.
- [18] Gustafson L.B.G., Hunt. J.P., "The porphyry copper deposit at El Salvador, Chile", *Economic Geology* 70 (1975) 857-912.
- [19] Clode C., Proffett J.M., Mitchell P., Munajat I., "Relationships of intrusion, wall rock alteration and mineralization in the Batu Hijau copper gold porphyry deposit", *Australasian Institute of Mining and Metallurgy Series* 4/99 (1999) 485-498.
- [20] Irianto B., Clark G.H., "The Batu Hijau porphyry copper-gold deposit, Sumbawa Island, Indonesia", in Mauk, J.L., and St. George, J.D., eds., *PACRIM'95 Congress: Australasian Institute of Mining and Metallurgy*, Melbourne, *Proceedings* (1995) 299-304.
- [21] Redmond P.B., Einaudi M.T., Inan E.E., Landtwing M.R., Heinrich C.A., "Copper deposition by fluid cooling in intrusion-centered systems: new insights from the Bingham Canyon porphyry ore deposit, Utah", *Geology* 32 (2004) 17-220.
- [22] Frieauf K., Titley S., Gibbins S., "Application of vein abundance studies in exploration in the Ertesberg porphyry deposit, west Papua, Indonesia", *Seattle Annual Meeting, Geological Society of America Abstract with programs* 35 (2003) 400.
- [۲۳] پارس کانه کیش، "گزارش پایانی اکتشافات مقدماتی مس و طلا در محدوده ماهرآباد - خوسف، استان خراسان جنوبی"، ۹۴ صفحه (۱۳۸۶).
- [24] Sillitoe R.H., "Some thoughts on gold-rich porphyry copper deposits", *Mineralium Deposita* 14 (1979) 161-174.
- [25] Sillitoe R.H., "Gold-rich porphyry deposits: descriptive and genetic models and their role in exploration and discovery", *Reviews in Economic Geology* 13 (2000) 315-345.
- [۶] شهاب‌پور ج.، "زمین‌شناسی اقتصادی"، انتشارات دانشگاه شهید باهنر کرمان، (۱۳۸۰) ۵۴۳ صفحه.
- [7] Berberian M., Jackson J.A., Qorashi M., Khatib M.M., Priestley K., Talebian M., Ghafuri-Ashtiani, M., "The 1997 may 10 Zirkuh (Qaenat) earthquake (Mw 7.2): faulting along the Sistan suture zone of eastern Iran", *Geophys. J. Int.* 136 (1999) 671-694.
- [8] Tarkian M., Lotfi M., Baumann A., "Tectonic, magmatism and the formation of mineral deposits in the central Lut, east Iran", Ministry of mines and metals, GSI, geodynamic project (geotraverse) in Iran, No. 51 (1983) 357-383.
- [9] Jung D., Keller J., Khorasani R., Marcks Chr., Baumann A., Horn P., "Petrology of the Tertiary magmatic activity the northern Lut area, East of Iran", Ministry of mines and metals, GSI, geodynamic project (geotraverse) in Iran, No. 51 (1983) 285-336.
- [۱۰] سامانی ب.، اشتری ش.، "تکوین زمین‌شناسی ناحیه سیستان و بلوچستان"، فصلنامه علوم زمین، شماره ۴، سازمان زمین‌شناسی کشور (۱۳۷۱).
- [۱۱] خسروی م.، "مطالعات پترولوژیکی، آلتراسیون، کانی‌سازی هاله ژئوشیمیایی در منطقه رحیمی (شمال غرب فردوس)"، پایان نامه کارشناسی ارشد زمین‌شناسی اقتصادی، دانشگاه فردوسی مشهد، ۲۶۵ صفحه (۱۳۸۵).
- [۱۲] کریم‌پور م. ح.، "زون‌های آلتراسیون کوارتز حفره‌دار و کوارتز-آلونیت (سولفید زیاد) بخش فوقانی سیستم مس پورفیری منطقه چاه شلغمی، جنوب بیرجند"، سیزدهمین همایش انجمن بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران، دانشگاه شهید باهنر کرمان، (۱۳۸۴) ۷-۱۱.
- [۱۳] ضیایی م.، عابدی آ.، "کانی‌سازی مس پورفیری در کمربند متالوژنی حاشیه کویر لوت"، یازدهمین کنفرانس بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران، دانشگاه یزد، (۱۳۸۲) ۵۷-۵۹.
- [14] Alavi M., "Tectonic map of the Middle East: Geologic Survey of Iran", scale 1:5000000 (1991).
- [15] Berberian M., "Active faulting and tectonics of Iran", in Gupta, H.K., and Delany, F.M., editors, *Zagros-Hindu Kush Himalaya Geodynamic Evolution: American Geophysical Union Geodynamic Series* 3 (1981) 33-69.