

کانسار مس - طلای پورفیری ائوسن مسجدداغی، شمال باختر ایران، نمونه‌ای از کانسارهای پورفیری نوع جزایر کمائی

شهره حسن پور^۱ و سعید علیرضایی^۲

^۱استادیار، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه پیام نور، ایران
^۲دانشیار، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، ایران
 تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۱۱/۰۷ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۸/۲۴

چکیده

کانسار مسجدداغی در جنوب باختر کمر بند ماگمایی ارسباران در شمال باختر ایران و در حاشیه جنوبی پهنه قفقاز کوچک جای گرفته است. این کانسار در یک توده میزبان دیوریتی نیمه ژرف مربوط به ائوسن تشکیل شده که در مجموعه‌ای از سنگ‌های آتشفشانی و تخریبی-رسوبی کهن تر نفوذ کرده است. ویژگی‌های ژئوشیمیایی توده نفوذی مسجدداغی، آن را دارای خصلت کالک آلکالن با پتاسیم بالا و متآلومینوس معرفی می‌کند که در یک محیط فرورانشی جزایر کمائی و همزمان با برخورد جایگزین شده است. دگرسانی‌های شاخص آن از نوع پتاسیک با کانی‌های شاخص بیوتیت و ارتوز ثانویه در مرکز کانسار پورفیری است که به وسیله دگرسانی پروپلیتیک با کانی شاخص کلریت دربر گرفته شده است. کانی‌های فلزی کانسنگ‌ساز را بیشتر کالکوپریت همراه با مقادیر فرعی کانه‌های بورنیت، کالکوسیت اولیه و تتراهدریت به همراه مقدار کمی مولیدنیت تشکیل می‌دهد. پیریت و مگنتیت کانه‌های همراه و متداول هستند. این کانسار در نمای پلان به صورت یک توده بیضوی شکل با قطر بزرگ ۵۰۰ متر و قطر کوچک ۴۰۰ متر بوده و آثار کانی‌سازی تا ژرفای افزون بر ۷۰۰ متر در گمانه‌ها ردیابی شده است. سن سنجی $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ روی بیوتیت‌های ثانویه در منطقه دگرسانی پتاسیک، زمان تشکیل کانسار را از این رو جایگزینی و تبلور توده دیوریت پورفیری مادر را $۵۴/۰۷ \pm ۰/۵۳$ (ائوسن آغازی) نشان می‌دهد. این کانسار از این نظر بسیار متفاوت با کانسارهای شناخته شده در پهنه ارسباران است که بیشتر در میوسن میانی و در جایگاه کمان ماگمایی قاره‌ای و همزمان با برخوردی تشکیل شده‌اند. کانسار مسجدداغی، از نظر جایگاه زمین‌شناسی، دگرسانی و کانی‌سازی، قابل مقایسه با سیستم‌های مس-طلای پورفیری جزایر کمائی است.

کلیدواژه‌ها: مس-طلای پورفیری، مسجدداغی، جزایر کمائی، ائوسن، آذربایجان، ایران.

*نویسنده مسئول: شهره حسن پور

E-mail: Hassanpour@pnu.ac.ir

۱- پیش‌نوشتار

کانسار مس-طلای پورفیری مسجدداغی در ۳۵ کیلومتری خاور شهرستان جلفا و ۵ کیلومتری باختر سیه‌رود، در حاشیه رودخانه مرزی ارس قرار گرفته است (شکل ۱). از نظر موقعیت زمین‌شناسی، منطقه مسجدداغی در انتهای باختری پهنه ساختاری آذربایجان-البرز باختری (نبوی، ۱۳۵۵) و در ایالت فلززایی جلفا-نخجوان در حاشیه جنوبی پهنه قفقاز کوچک (UN, 2000) جای دارد.

گسترده‌ترین واحدهای سنگی منطقه را سری سنگ آهک-دولومیت پرموتریاس جلفا، سازندهای فلیشی و آذرآواری مزوزویک و گدازه‌های آندزیتی و توف با سن احتمالی پالئوسن تشکیل می‌دهد (شکل ۲). فعالیت‌های ماگمایی ائوسن در این منطقه، سبب تشکیل یک کمپلکس آتشفشانی-نفوذی درون واحدهای (فلیش) مزوزویک شده است. سری آتشفشانی پالئوسن؟ به وسیله توده نفوذی دیوریتی و دایک‌های همراه قطع شده است (سازمان زمین‌شناسی کشور، ۱۳۷۸).

برخی پژوهشگران، از جمله اکبرپور (۱۳۸۵) و کلاگری و شیخ (۱۳۸۶) کانسار مسجدداغی را از دید سن و ویژگی‌های زمین‌شناسی با کانسار مس پورفیری سونگون مقایسه کرده و آن را در پهنه ارسباران در نظر گرفته‌اند. حسن پور (۱۳۸۹) و Hassanpour and Alirezai (2013) نشان دادند که منطقه مسجدداغی در حاشیه پهنه ماگمایی یا پهنه فلززایی ارسباران جای گرفته و از دید تکامل زمین‌شناسی، متفاوت از این پهنه می‌باشد.

آگاهی از زمان کانی‌سازی و فرایندهای کنترل‌کننده آن و نیز جایگاه زمین‌شناسی کانسارها اهمیت زیادی از دو دیدگاه علمی و کاربردی، به‌ویژه در اکتشاف ناحیه‌ای آنها دارد. کانسارهای مس موسوم به نوع پورفیری، در چند محیط زمین‌شناسی متفاوت، از جمله جزایر کمائی و کمان‌های ماگمایی قاره‌ای و محیط‌های برخوردی و پس‌برخوردی پدید می‌آیند و همبستگی زمانی-مکانی و زایشی با فعالیت‌های ماگمایی دارند (Titley and Beane, 1981; Richards, 2003; Sillitoe and Perelló, 2005). از این رو شناخت ماهیت و تحول ماگماهای مولد و محیط تشکیل آنها بخش مهمی از مطالعه این کانسارها به شمار می‌رود. در این مقاله، ویژگی‌های زمین‌شناسی، دگرسانی، کانی‌سازی و ژئوشیمیایی و تحول سنگ‌های آذرین محدوده اکتشافی مسجدداغی

بررسی می‌شود. همچنین، سن کانی‌سازی با استفاده از روش Ar-Ar بر روی کانی بیوتیت مربوط به منطقه دگرسانی پتاسیک ارائه شده و با استفاده از نتایج حاصل از این مطالعات و نیز داده‌های موجود در مورد کانسارهای دیگر در شمال باختر ایران، جایگاه و تحول زمین‌شناسی این محدوده مورد بحث و بررسی قرار می‌گیرد.

۲- روش مطالعه

این مطالعه با توجه به مشاهدات صحرایی و نمونه‌برداری سیستماتیک از رخنمون‌های سطحی و مغزه‌های حفاری بر پایه مطالعات میکروسکوپی و آنالیز سنگ کل (whole rock) استوار است. پس از مطالعه میکروسکوپی نمونه‌ها به منظور تشخیص ویژگی‌های سنگ‌شناسی، بافتی و دگرسانی، ۵ نمونه معرف از توده پورفیری دیوریتی از نظر عناصر اصلی، فرعی، کمیاب و عناصر خاکی کمیاب با روش ICP-MS تجزیه شد (جدول ۱). تجزیه نمونه‌ها در آزمایشگاه Amdel در استرالیا انجام شده است. به منظور آگاهی از زمان کانی‌سازی، و به‌طور غیرمستقیم سن جایگزینی و تبلور توده پورفیری در کانسار مسجدداغی، بیوتیت‌های ثانویه جدا شده از یک نمونه مربوط به منطقه دگرسانی پتاسیک، در مرکز تحقیقات علوم زمین در دانشگاه بریتیش کلمبیای کانادا به روش $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$ سن‌سنجی شده است.

۳- زمین‌شناسی منطقه

کهن‌ترین و گسترده‌ترین واحدهای سنگی در منطقه مسجدداغی، شامل مجموعه‌ای از سازندهای تخریبی (فلیش) مربوط به کرتاسه یا کهن‌تر است. این مجموعه آذرآواری-رسوبی، در کرتاسه بالایی-پالئوسن توسط گدازه‌های تراکی-آندزیتی و آندزیتی جوان‌تر پوشیده شده است (شکل ۲). در مراحل انتهایی فعالیت‌های ماگمایی، توده نیمه‌ژرف دیوریتی در مجموعه آتشفشانی یاد شده، نفوذ کرده است. در ادامه، ویژگی‌های سنگ‌شناسی واحدهای آتشفشانی-آذرآواری و توده نفوذی توصیف می‌شود.

۳-۱. سنگ‌های آتشفشانی آندزیتی و تراکی آندزیتی

این واحد با رنگ به نسبت روشن‌تر از توده پورفیری، گسترش زیادی در منطقه

HFSE مانند Ti و Nb دیده می‌شود که ناشی از خصلت عدم تحرک این عناصر است که در مناطق فرورانش، در فرایندهای مربوط به ذوب بخشی شرکت نمی‌کنند و در نتیجه، در ماگمای تولید شده در گوه گشته‌ای، تهی‌شدگی از آنها دیده می‌شود (Brenan et al., 1994; Foley et al., 2000) (شکل ۷).

در نمودار توزیع عناصر خاکی کمیاب، که با مقادیر کندریتی بهنجار شده است، غنی‌شدگی در عناصر خاکی کمیاب سبک (LREE) (۱۴۰-۱۱۰ برابر) دیده می‌شود. این غنی‌شدگی برای عناصر خاکی کمیاب سنگین (HREE) تا ۳۰ برابر است.

در نمودار عنکبوتی، عناصر خاکی کمیاب بهنجار شده با گوشه اولیه الگوی تفریق یافته‌ای با شیب منفی مشخص از عناصر نشان می‌دهند که از عناصر LREE به سوی عناصر MREE و HREE شیب نمودار بسیار کمتر شده و تقریباً حالت مسطح نشان می‌دهد (شکل ۸). در این شکل همه نمونه‌های برداشت شده از سنگ‌های آتشفشانی و دیوریتی، تغییرات یکسانی نشان می‌دهند؛ بنابراین گویای منشأ یکسان برای همه سنگ‌ها در سکانس آتشفشانی- نفوذی در منطقه مسجدداغی است.

در نمودار شکل ۹- الف از (Shand (1943) نمونه‌های معرف مسجدداغی در محدوده متالومینوس جای می‌گیرند. در نمودار (Wood, 1980) Hf-Th-Ta نمونه‌ها در منطقه CAB یعنی بازالت‌های کالک‌آلکانل جانمایی می‌شوند (شکل ۹- ب). در نمودار تمایزی Y-Nb برای گرانیتوئیدها (از Pearce et al., 1984) که قلمروهای زمین‌ساختی را از هم تفکیک می‌سازد (شکل‌های ۹- ج و د) نمونه‌ها در قلمرو syn-COLG + VAG جای می‌گیرند که نشانگر محیط زمین‌ساختی فرورانشی کمان آتشفشانی و همزمان با برخورد است.

۵- دگرسانی در کانسار مسجدداغی پورفیری

دگرسانی‌های پتاسیک، آرزلیک و پروپلیتیک بیشترین گسترش را در کانسار مسجدداغی دارند و به نظر می‌رسد که در ارتباط با تحول سامانه گرمایی و کانی‌سازی نوع پورفیری تشکیل شده‌اند. دگرسانی‌های سیلیسی، رسی و رسی پیشرفته نیز به‌طور پراکنده و با گسترش کمتر وجود دارد. توزیع انواع دگرسانی‌ها در شکل ۲ نشان داده شده است.

۵-۱. دگرسانی پتاسیک

دگرسانی پتاسیک در مسجدداغی در حاشیه خاوری و باختری رودخانه فصلی آریپاچایی دیده می‌شود (شکل ۲). این دگرسانی گسترش زیادی دارد و تا حد زیادی توسط دگرسانی‌های بعدی (رسی و کمی فیلیک) تحت تأثیر قرار گرفته است. کانی‌شناسی منطقه شاخص دگرسانی پتاسیک، شامل فلدسپار پتاسیم (ارتوز) + بیوتیت + مگنتیت + انیدریت است. ارتوز به رنگ صورتی به شکل بلورهای وجه‌دار درشت و نیز بی‌وجه دیده می‌شود (شکل ۱۰- الف). تشکیل ارتوز در امتداد درزه‌ها کاملاً مشخص و نشانگر منشأ ثانویه این کانی است (شکل ۱۰- ب). این کانی در متن سنگ نیز دیده می‌شود. کوارتز به رنگ خاکستری و در رگچه‌های ثانویه نوع A و یا به‌صورت تجمع بی‌وجه درون توده نیمه‌آتشفشانی دیده می‌شود (شکل‌های ۱۰- ب و ج). انیدریت در این منطقه به مقدار زیاد به چشم می‌خورد.

بیوتیت گرمایی به‌صورت پراکنده در متن سنگ و نیز پرکننده شکستگی‌ها وجود دارد و فراوانی آن در برخی نمونه‌های مقاطع نازک به بیش از ۵۰ درصد هم می‌رسد (شکل ۱۰- د). مگنتیت در اثر دگرسانی‌های تأخیری تا حدی به هماتیت تبدیل شده است. بی‌هنجاری‌های مغناطیسی در محدوده اکتشافی مسجدداغی (شکل ۱۱) همپوشانی آشکاری با توزیع دگرسانی پتاسیک دارد و این امر با لاگ مغزه‌های حفاری بخوبی تأیید می‌شود. تجربه اکتشاف ژئوفیزیکی در مسجدداغی ثابت کرده است که اکتشاف ژئوفیزیکی به روش مغناطیس‌سنجی در سامانه‌های پورفیری با رخداد و حفظ‌شدگی مناسب دگرسانی پتاسیک، ابزار نیرومندی در اکتشاف و طراحی بهینه نقاط اکتشافی است (حسن‌پور و همکاران، ۱۳۸۷). نتایج حاصل از لاگ و تحلیل هدفمند مغزه‌های حفاری نشان می‌دهد که کانه‌زایی مس و طلا در همراهی با دگرسانی پتاسیک، تا ژرفای ۷۰۰ متری ادامه دارد (شرکت ملی صنایع مس ایران، ۱۳۸۷).

مسجدداغی دارد (شکل ۳). بافت پورفیری داشته و درشت‌بلورهای آن بیشتر شامل پلاژیوکلاز، هورنبلند و بیوتیت است. در مقیاس میکروسکوپی، مقداری فلدسپار قلیایی و پیروکسن نیز دیده می‌شود و زمینه سنگ نیز، شیشه‌ای تا میکروولیتی است (شکل ۴- الف). در نمودارهای تفکیک سنگ‌های آتشفشانی، ترکیب آن از آندزیت تا تراکی آندزیت تغییر می‌کند. این واحد در بیشتر مناطق به شدت دگرسان شده است. در بسیاری از نمونه‌ها، دگرسانی موجب تغییر کانی‌های اولیه سنگ شده و بافت اولیه قابل تشخیص نیست. این واحد در ادامه فعالیت‌های ماگمایی، توسط دایک‌هایی با ترکیب کم‌ویش مشابه با آن، قطع شده است (شکل ۴- ب).

۳-۲. استوک دیوریتی

در منطقه مسجدداغی، یک کمپلکس استوک دیوریتی، که به نظر می‌رسد منشأ اصلی کانی‌سازی باشد، درون سنگ‌های آتشفشانی آندزیتی نفوذ کرده است. حاشیه خارجی این کمپلکس، به دلیل فراوانی کلریت، به رنگ سبز تیره و کدر دیده می‌شود و منطقه دگرسانی پروپلیتیک کانسار مسجدداغی را تشکیل می‌دهد. بخش مرکزی آن تحت تأثیر دگرسانی پتاسیک قرار گرفته و با کانی‌های ارتوز و بیوتیت ثانویه مشخص می‌شود. به دلیل فراوانی نسبی کانی ارتوز، این بخش را می‌توان به رنگ قهوه‌ای روشن تا مایل به سرخ در دو سوی رودخانه آریپاچایی مشاهده کرد. حفاری‌ها نشان می‌دهد که کانی‌سازی بیشتر در این منطقه رخ داده است.

۳-۳. دایک‌ها

مجموعه آتشفشانی- نفوذی مسجدداغی، توسط دایک‌های فراوان آندزیتی و بازالتی قطع شده است. همانندی کانی‌شناسی و ترکیب شیمیایی بیشتر دایک‌های آندزیتی با واحد آندزیتی درونگیر نشان از منشأ ماگمایی یکسان آنها دارد. دایک‌های آندزیتی درشت‌دانه‌تر هستند و بیشتر در امتداد گسل‌هایی با راستای شمال خاوری- جنوب باختری تا خاوری- باختری ترزریق شده‌اند. ابعاد تک‌بلورها در این دایک‌ها تا ۰/۵ سانتی‌متر می‌رسد.

دایک‌های بازالتی تفاوت کانی‌شناسی و ترکیب شیمیایی آشکاری با دیگر سنگ‌های منطقه نشان می‌دهند. در این دایک‌ها، تک‌بلورهای الیون دیده می‌شود. در نمونه دستی، این سنگ‌ها تیره‌تر هستند و بلورهای آمفیبول (هورنبلند سبز)، گارنت و الیون در زمینه فلدسپار با بافت میکروولیتی دیده می‌شوند.

۳-۴. نهشته‌های کواترنر

نهشته‌های کواترنری بیشتر به‌صورت آبرفت و رسوبات رودخانه‌ای در بخش اصلی کانسار به ستبرای میانگین ۵۰ متر (مطابق با نتایج مطالعات ژئوفیزیکی در بخش آبرفتی منطقه، شرکت ملی صنایع مس ایران، ۱۳۸۷) دیده می‌شود. رودخانه آریپاچایی از میان کانسار مسجدداغی عبور و آن را به دو نیمه خاوری- باختری تقسیم می‌کند.

۴- ژئوشیمی و فعالیت ماگمایی کمپلکس آتشفشانی- نفوذی مسجدداغی

نمونه‌های معرف از واحدهای سنگی با کمترین دگرسانی با روش‌های ICP-OES و ICP-MS در آزمایشگاه مدل استرالیا برای عناصر اصلی، فرعی، کمیاب و خاکی کمیاب تجزیه شده‌اند. در بحث ژئوشیمی ماگما، برای تکمیل اطلاعات از داده‌های یداللهی و همکاران، ۱۳۸۸ نیز استفاده شده است (جدول ۱).

مطابق شکل ۵- الف، سنگ‌ها از دید گرایش ژئوشیمیایی در محدوده کالک‌آلکانل با پتاسیم بالا و مطابق شکل ۵- ب در محدوده کالک‌آلکانل جای می‌گیرند. در نمودار TAS پیشنهادی (Cox et al., 1979) سنگ‌های آتشفشانی در محدوده داسیت تا تراکی آندزیت و ریولیت (شکل ۶- الف) و مطابق شکل ۶- ب ترکیب سنگ‌های نفوذی مسجدداغی در محدوده دیوریت جانمایی می‌شوند.

در نموداری که با مقادیر گوشه اولیه بهنجار شده است، عناصر سنگ‌دوست بزرگ‌یون (LILE) مانند توریم، اورانیم، پتاسیم و سرب غنی‌شدگی نشان می‌دهند که ناشی از آلودگی گوه گشته‌ای با رسوبات و سیال‌های ناشی از تختال (plate) فرورونده بوده است (Tatsumi et al., 1986; Davidson et al., 1996). ولی در همین نمودار، تهی‌شدگی از عناصر موسوم به

۵-۲. دگرسانی پروپلیتیک

آرام در ونکوور، بریتش کلمبیای کانادا تجزیه شده‌اند. در این مرحله، کانی‌های تفکیک شده، با افزایش توان پرتوهای غیر متمرکز لیزری با قدرت $10W CO_2$ (New Wave Research MIR10) و به صورت تدریجی تا مرحله گداخت کامل، گرما داده می‌شود. گازی که در هر مرحله نشت می‌یابد، به وسیله طیف‌سنج جرمی VG5400 مجهز شده با مولتیپلایر شمارش یونی الکترونی، اندازه‌گیری می‌شود. همه اندازه‌گیری‌ها برای سامانه بلانک کل، طیف‌سنج جرمی حساس، تفکیک جرمی، فروپاشی رادیواکتیویته در هنگام پرتوزایی و یا پس از آن تصحیح شده‌اند؛ که در هر لحظه ممکن است گاز آرگون با آلودگی اتمسفری و پرتوزایی کلسیم، کلر و پتاسیم وارد شود. نسبت‌های ایزوتوبی شامل موارد زیر است:

$$({}^{40}Ar/{}^{39}Ar)_K = 0.0302 \pm 0.00006,$$

$$({}^{37}Ar/{}^{39}Ar)_{Ca} = 1416.4 \pm 0.5, \quad ({}^{36}Ar/{}^{39}Ar)_{Ca} = 0.3952 \pm 0.0004, \quad Ca/K = 1.83 \pm 0.01$$

$$({}^{37}Ar_{Ca}/{}^{39}Ar_K)$$

در کل، با این روش سن‌سنجی، کل سن‌های گازی به دست آمده، سن خطی (Plateau age)، سن‌های متقارن وارون با مقدار خطای ۲ سیگما همخوانی دارند؛ به جز مسائل عمده‌ای که ناشی از آرگون بیش از حد یا از دست رفتن آرگون جزئی است. در این روش و تعیین سن به روش آرگون-آرگون، تعیین سن کانی‌های بیوتیت‌های ثانویه، با گرم کردن مرحله‌ای کانی‌های نمونه برداری شده از دگرسانی پتاسیک انجام می‌شود و نتایج حاصل (که در جدول ۲ و شکل‌های ۱۴-الف و ب آورده شده است) معادل سن $53 \pm 0.54/0.7$ برای تشکیل منطقه دگرسانی پتاسیک درون توده نیمه‌ژرف دیوریت پورفیری است. این سن با میزان انحراف معیار $\delta 2$ خطای در حد ۱٪ و درجه اطمینان ۹۹٪ به دست آمده است. مقدار آرگون (${}^{39}Ar$) موجود در نمونه تعیین سن شده، $97/2$ ٪ بوده است.

۸- نتیجه‌گیری

ویژگی‌های ژئوشیمیایی نمونه‌های معرف از توده نفوذی مسجداغی و سنگ‌های آتشفشانی همراه نشان می‌دهد که این کانسار در یک محیط زمین‌ساختی جزایر کمانی فرورانشی با سرشت کالک‌آلکال و پتاسیم بالا و با گرایش شوشونیتی تشکیل شده است. همچنین طبق مطالعات صحرایی، سنگ‌شناسی و دگرسانی صورت گرفته، این کانسار دارای دو نوع دگرسانی اصلی پروپلیتیک و پتاسیک است. بخش‌های زیادی از منطقه دگرسانی پتاسیک در منطقه حفظ شده و منطقه دگرسانی پروپلیتیک (کلریتی) هم به صورت لکه‌هایی در حاشیه بلافضل آن دیده می‌شود. در این کانسار بر خلاف کانسارهای مونزونیتی کانی‌آیدوت نایاب است؛ ولی کلریت که شاخص اصلی پهنه پروپلیتیک در کانسارهای نوع جزایر کمانی است، در آن به فراوانی دیده می‌شود. کانسار مسجداغی با توجه به شواهد فعالیت ماگمایی، دگرسانی و کانی‌سازی از نوع کانسارهای پورفیری آلکال-مس-طلا ارزیابی می‌شود. از این نوع کانسارها در جهان می‌توان به کانسارهای پورفیری باختر اقیانوس اطلس، کانسارهای جنوب خاور آسیا و همچنین کانسارهای الاستیت و پاناکوریشته در بلغارستان اشاره کرد.

ژنز این کانسار در مقالات و نوشته‌های پیشین با وجود تفاوت‌های آشکار صحرایی دیده شده در سطح، همانند دیگر کانسارهای پورفیری منطقه و از نوع مونزونیتی و حاشیه‌قاره‌ای معرفی شده است.

در منطقه مسجداغی پس از فرورانش، الحاق دو پوسته اقیانوسی در حاشیه پهنه ارسباران و احتمالاً در زمان کرتاسه و در ترف آرپاچایی (UN, 2000) رخ داده است. همزمان با رخداد برخورد، توده نیمه‌آتشفشانی دیوریت پورفیری مسجداغی با سن پیدایش $53 \pm 0.54/0.7$ میلیون سال درون کمپلکس آتشفشانی‌های ائوسن و رسوبات فلیش گونه کرتاسه منطقه نفوذ کرده است. این توده پس از تشکیل، به مدت طولانی در معرض فرسایش شدید بوده و بخش‌های پروپلیتیک بالایی کانسار کاملاً از بین رفته است.

این دگرسانی در بخش‌های حاشیه‌ای کانسار بیشتر به صورت لکه‌هایی در پیرامون منطقه دگرسانی پتاسیک و کانه‌دار تشکیل شده است. این منطقه بیشتر بخش‌های حاشیه‌ای توده نیمه‌آتشفشانی و حاشیه توده آتشفشانی و آندزیتی کانسار مسجداغی را متأثر ساخته است. منطقه دگرسانی پروپلیتیک این کانسار، بیشتر از کانی کلریت تشکیل شده است و با رنگ سبز کدر، در منطقه شناسایی می‌شود (شکل ۱۲). در مطالعات میکروسکوپی، درشت‌بلورهای سنگ بیشتر به وسیله کلریت جایگزین شده‌اند. کانی‌های سولفیدی پیریت و کالکوپیریت از کانی‌های عمده این منطقه دگرسانی به شمار می‌روند.

۶- کانه‌زایی مس-طلا پورفیری مسجداغی

بیشترین گسترش و رخنمون توده دیوریت پورفیری، دگرسانی پتاسیک و کانه‌زایی همراه آن در امتداد رودخانه آرپاچایی دیده می‌شود. میزبان اصلی کانه‌زایی در کانسار مسجداغی، توده دیوریتی با دگرسانی غالب پتاسیک است (شکل ۱۲). حفاری‌های انجام شده توسط شرکت ملی صنایع مس ایران، با طراحی، هدایت و نظارت مستقیم نگارنده اول، نشان‌دهنده گسترش قائم این توده تا ژرفای زیاد، حتی تا بیش از هفتصد متر می‌باشد. کانه‌های شاخص کانسنگ را پیریت، کالکوپیریت، بورنیت، تتراهدریت، کالکوسیت و مگنتیت به همراه مقادیر کمی مولیبدنیت تشکیل می‌دهد (شکل ۱۳).

شکل‌های کانه‌زایی بیشتر به صورت رگه و رگچه‌هایی بسیار باریک و کمتر به صورت افشان در متن سنگ دیده می‌شوند (شکل‌های ۱۳-الف تا خ). شواهد رخداد پروتازاد در نمونه‌های حاصل از گمانه‌ها بسیار کم است و در گمانه‌های حفاری شده آثار بسیار ضعیفی از پهنه اکسیدان و پهنه غنی شده دیده می‌شود. بنابراین، شواهد غنی‌سازی و در نتیجه تشکیل ذخیره در بخش پروتازاد مسجداغی بسیار کم است.

کانه‌های سولفیدی کالکوپیریت، بورنیت، تتراهدریت و کالکوسیت اولیه، از جمله کانه‌های شاخص در منطقه درون‌تازاد در مسجداغی به شمار می‌روند (شکل ۱۳).

۷- تعیین سن به روش آرگون-آرگون

برای تعیین سن به روش آرگون-آرگون از توده دیوریت پورفیری با دگرسانی پتاسیک از کناره رودخانه آرپاچایی که در نقشه زمین‌شناسی منطقه و در شکل ۲ مشخص شده، نمونه برداری صورت گرفت. نمونه با کد SH451 از توده دیوریت پورفیری برای انجام سن‌سنجی به روش آرگون-آرگون برداشت گردید. ابتدا این نمونه در اندازه الک زیر ۲۰ مش خرد شد. پس از انجام همه مراحل لاوک‌شویی، نمونه‌ها در آون در دمای بالا خشک شدند. نمونه‌های آماده شده در زیر دستگاه بینوکولر مورد بررسی قرار گرفت و سپس کانی‌های بیوتیت ثانویه از آن جدا شد. در پایان نمونه دارای کانی‌های بیوتیت ثانویه، برای تعیین سن به آزمایشگاه بریتش کلمبیای کانادا فرستاده شد. چگونگی تجزیه نمونه در دستگاه رادیواکتیو این آزمایشگاه و روش استفاده شده، در ادامه توضیح داده می‌شود. سن به دست آمده، بیانگر زمان تشکیل منطقه دگرسانی پتاسیک پس از تأثیر محلول‌های گرمایی در کانسار مسجداغی است (شکل ۱۴).

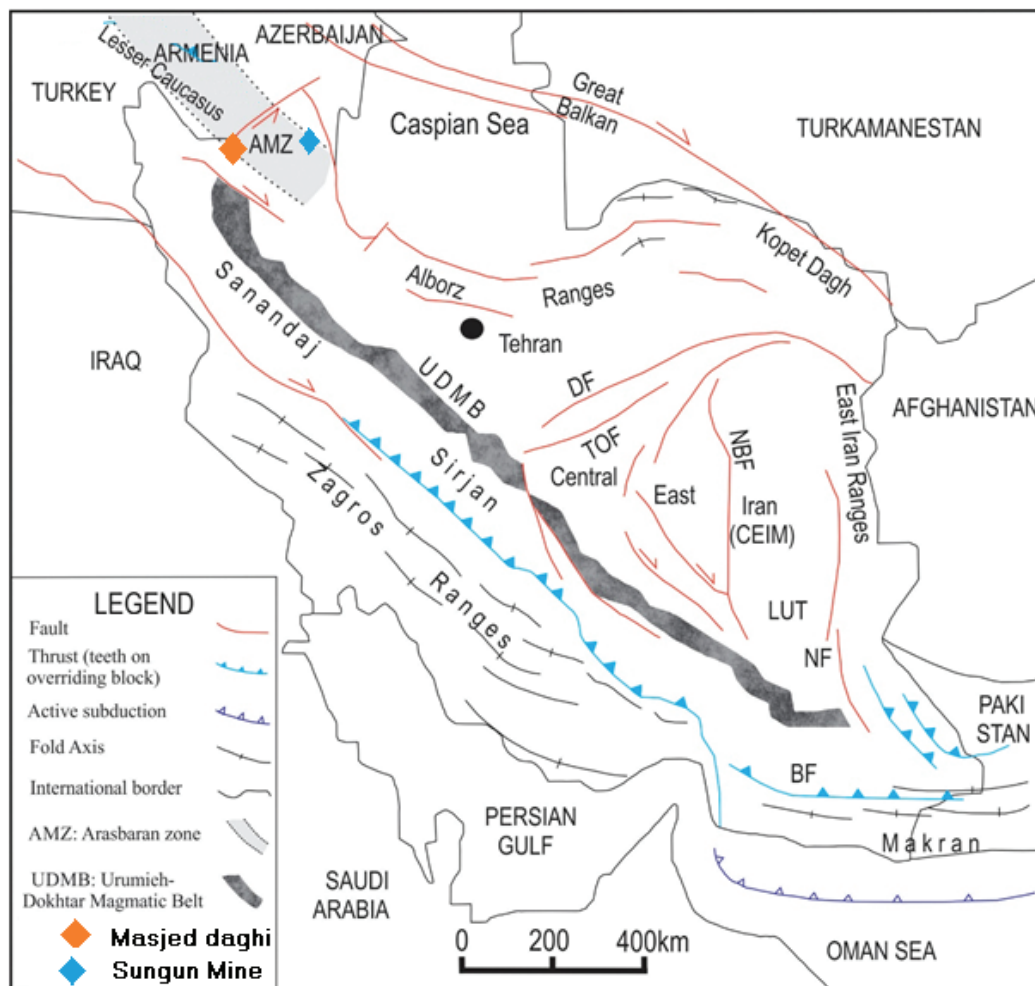
در مرحله آماده‌سازی برای تجزیه دستگاهی، کانی‌های جداسازی شده، در یک ورق آلومینیمی پیچیده و همراه با کانی‌های با سن مشابه درون یک کپسول پرتوزا و در مانیتور (FCs; Fish Canyon Tuff sanidine) به سن $28/0.2 Ma$ (Renne et al., 1998) با گداخت نوترونی قرار داده شد. نمونه‌ها در رآکتور هسته‌ای مک مستر در هامپتون کانادا به مدت $43 MWH$ با تشعشعات گداخت نوترونی برابر با $10^{13} \times 6$ نوترون بر مجذور سانتی‌متر در واحد ثانیه، تحت بمباران هسته‌ای قرار گرفتند. تجزیه ۳۰ مورد در ۶ مونیتور گداخت هسته‌ای، حدود کمتر از نیم درصد خطا نشان داده است. نمونه‌ها در آزمایشگاه نابل گاز، در مرکز تحقیقات ژئوشیمیایی اقیانوس

حفاری‌های انجام گرفته توسط شرکت ملی صنایع مس ایران با نظارت و طراحی حفاری‌های اکتشافی به وسیله نگارنده اول، گسترش و تداوم کانی‌سازی را در ژرفای زیاد ثابت کرده است. این مطالعات و حفاری‌های گسترده انجام شده نشان داده است که ابعاد توده پورفیری مسجداغی در حدود $500 * 400 * 700$ متر می‌باشد. مطالعات صورت گرفته، ذخیره قطعی ارزیابی شده برای این کانسار را، در حدود ۸۳ میلیون تن با عیار حد ۰/۴۶٪ مس و ۸۰۰۰۰ تن طلا با عیار حد ۱ ppm برآورد کرده است.

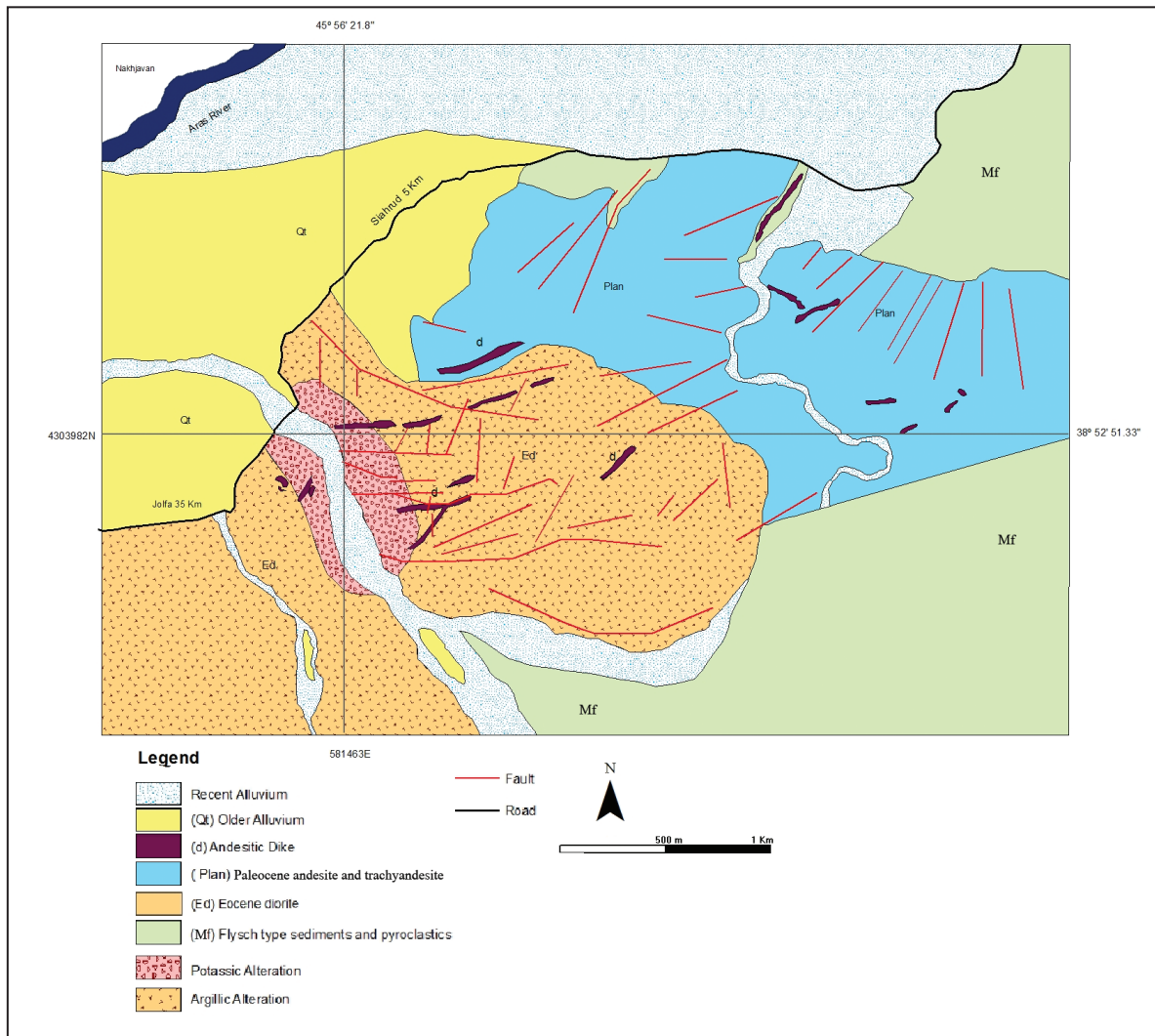
سپاسگزاری

از کمک‌های مدیریت وقت امور اکتشافات و مهندسی توسعه شرکت ملی صنایع مس ایران، آقایان مهندس محمد کارگر و دکتر مهرداد حیدری در انجام این تحقیق سپاسگزاری می‌شود.

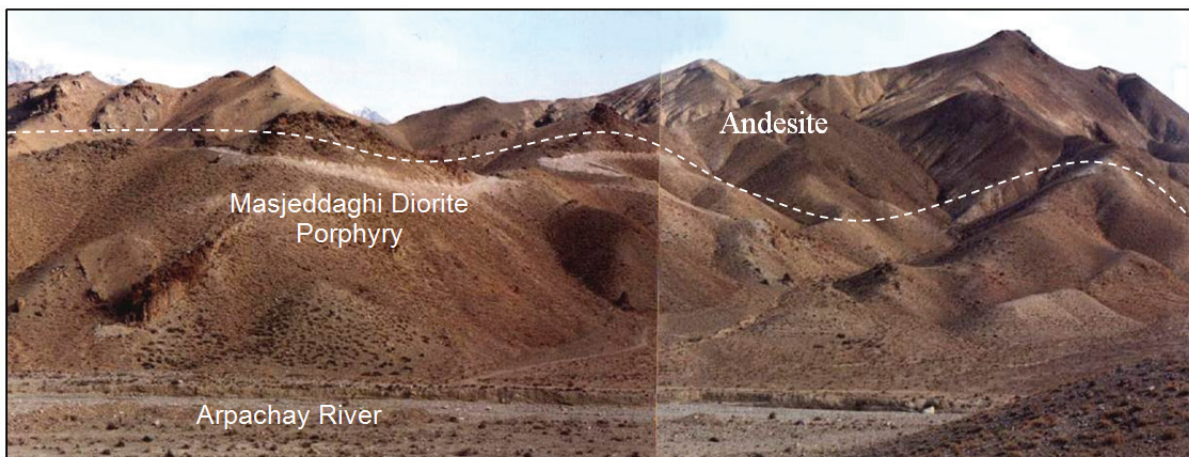
همان‌گونه که اشاره شد، مطابق مطالعات پیشین در این منطقه، کانسار مسجداغی با تشابه زمانی تشکیل با کانسار سونگون و در پهنه فلززایی ارسباران فرض شده بود، اما مطالعه حاضر و انجام سن‌یابی بیوتیت‌های ثانویه در منطقه دگرسانی پتاسیک و به دست آمدن زمان دقیق تشکیل کانسار، مشخص شد که این منطقه در حاشیه پهنه ارسباران و مستقل از آن، و خارج از تحولات این پهنه فلززایی، تشکیل شده و از دید تکامل ساختاری زمین‌شناسی، به کلی متقدم و متفاوت از پهنه ارسباران بوده است. برپایه سن‌یابی ارایه شده در این پژوهش، دست کم از دید زمانی، تفاوت آشکاری میان این دو کانسار مهم در شمال باختر ایران دیده می‌شود. با به دست آمدن همه شواهد بیان شده در این پژوهش، می‌توان نتیجه گرفت که کانسار مسجداغی از نوع کانسارهای پورفیری مس- طلا و از نوع جزایر کمانی بوده و سن تشکیل منطقه پتاسیک آن مربوط به ۵۴ میلیون سال پیش است.



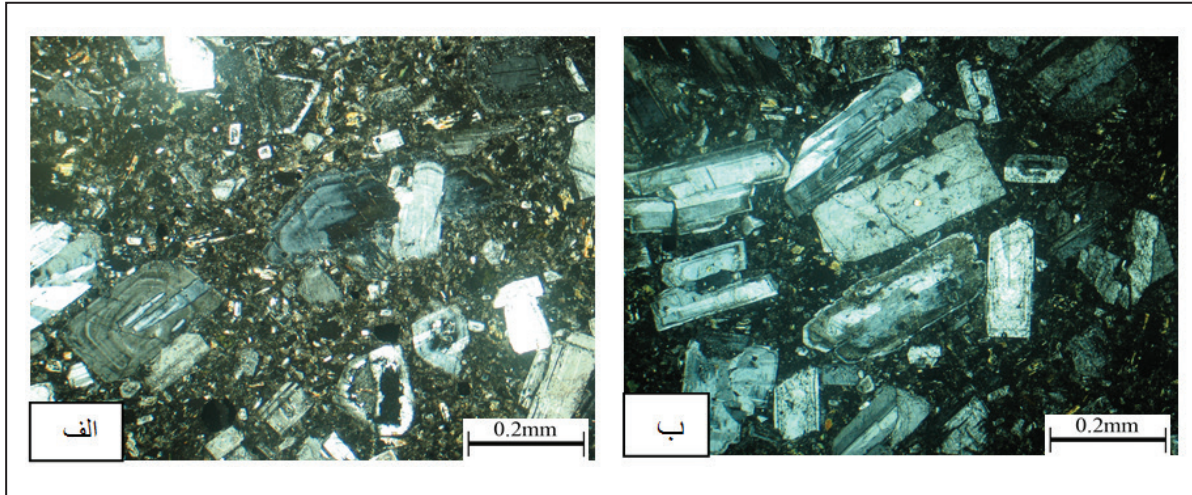
شکل ۱- نقشه پهنه‌های ساختاری- زمین‌شناسی ایران (با تغییرات از (Stocklin and Setudehnia (1972) با نمایش موقعیت کانی‌سازی منطقه مسجداغی.



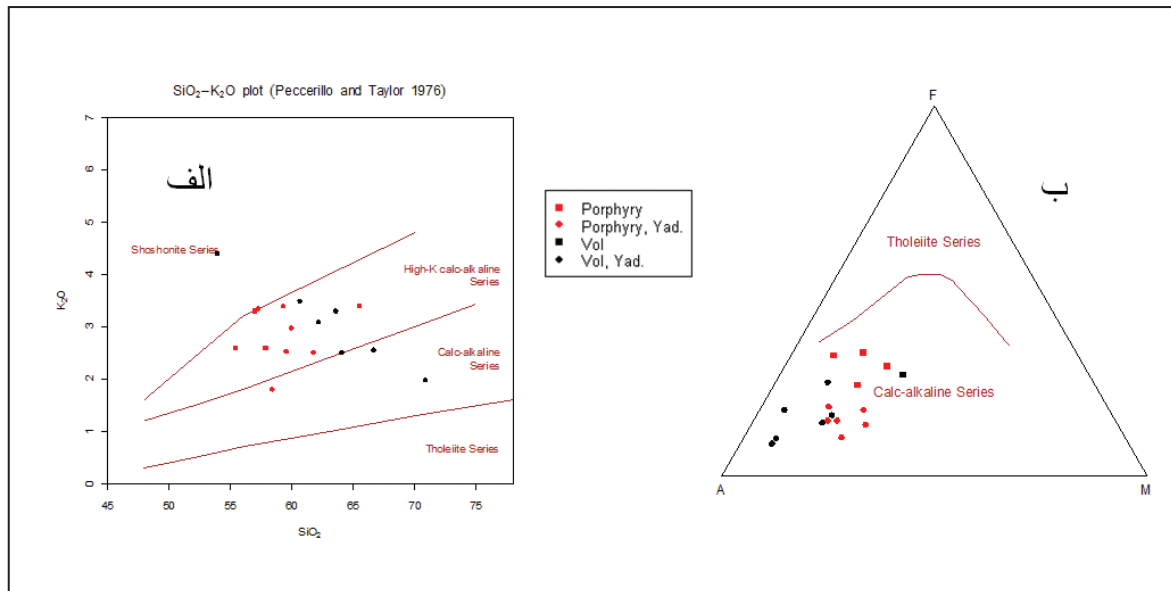
شکل ۲- نقشه زمین شناسی ساده شده از کانسار مسجدداغی (سازمان زمین شناسی کشور، ۱۳۷۸ با تغییرات).



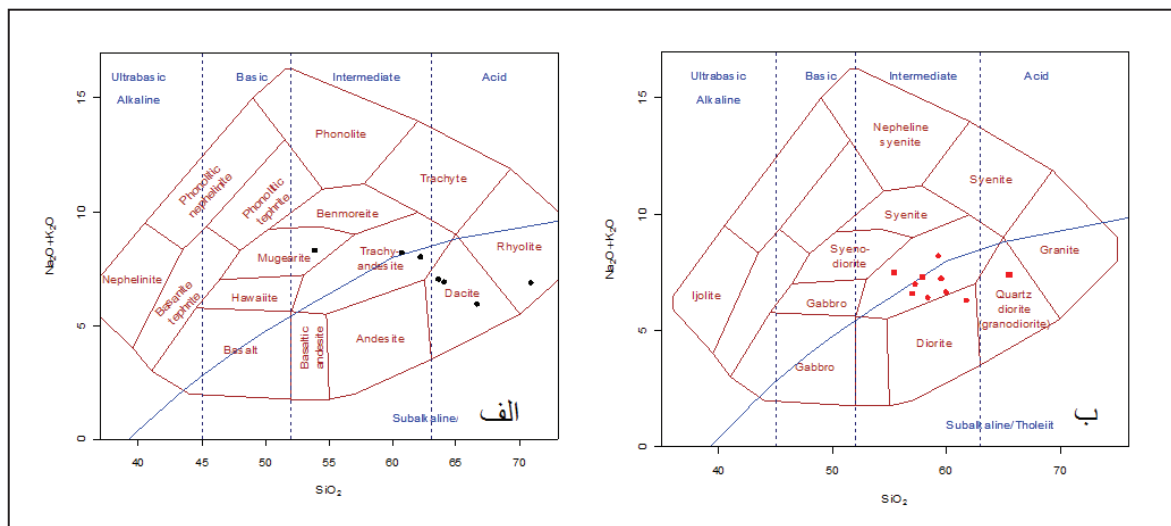
شکل ۳- نمایی از واحد آندزیتی و تراکی آندزیتی که مهم ترین واحد سنگ شناختی منطقه بوده و تحت تأثیر دگرسانی آرژیلیک (رنگ سفید) قرار گرفته است.



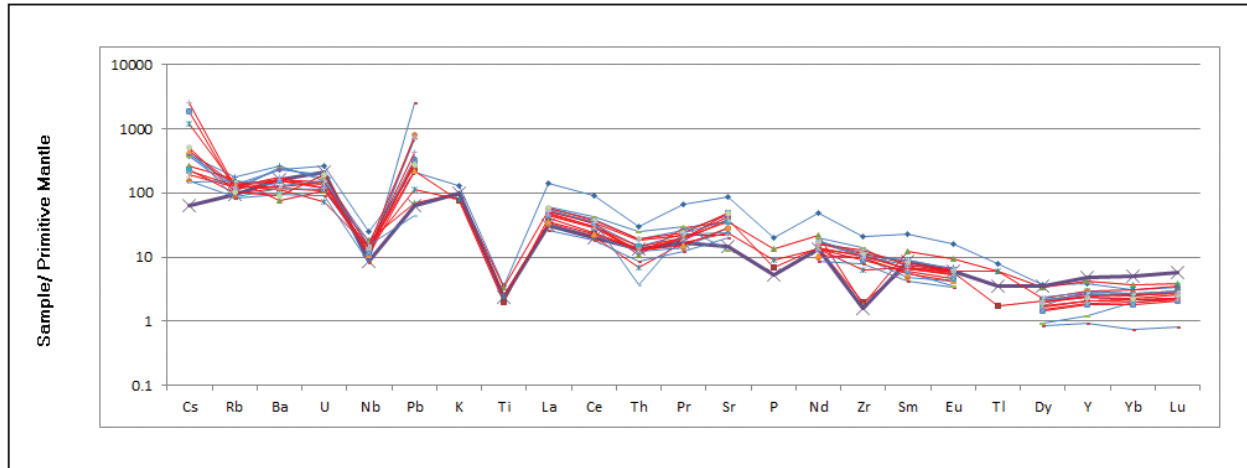
شکل ۴- الف) تصویر میکروسکوپی نمونه‌ای از واحد آندزیتی، که نشانگر درشت بلورهای پلاژیوکلاز (برخی با زون‌بندی ترکیبی) در زمینه ریزدانه و میکروکلیتی است؛ ب) تصویر میکروسکوپی نمونه‌ای از دایک‌های آندزیتی در منطقه که بدون دگرسانی هستند. در این نمونه، درشت بلورهای پلاژیوکلاز در زمینه‌ای ریزدانه دیده می‌شوند.



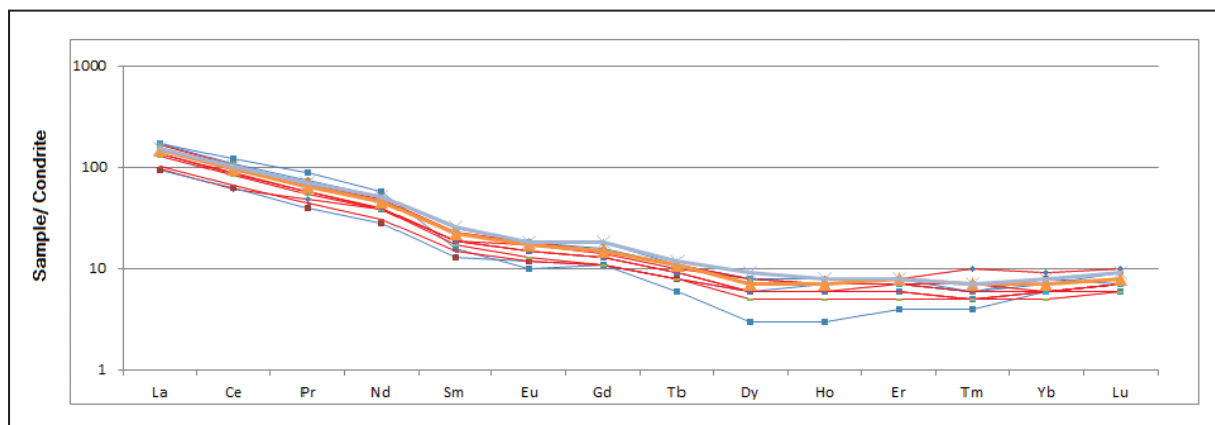
شکل ۵- موقعیت نمونه‌های سنگی منطقه در نمودارهای: الف) Peccirillo and Taylor (1976) $(\text{SiO}_2/(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}))$; ب) Irvine and Baragar (1971). نمونه‌های با کد Yad از یدالهی و همکاران (۱۳۹۰).



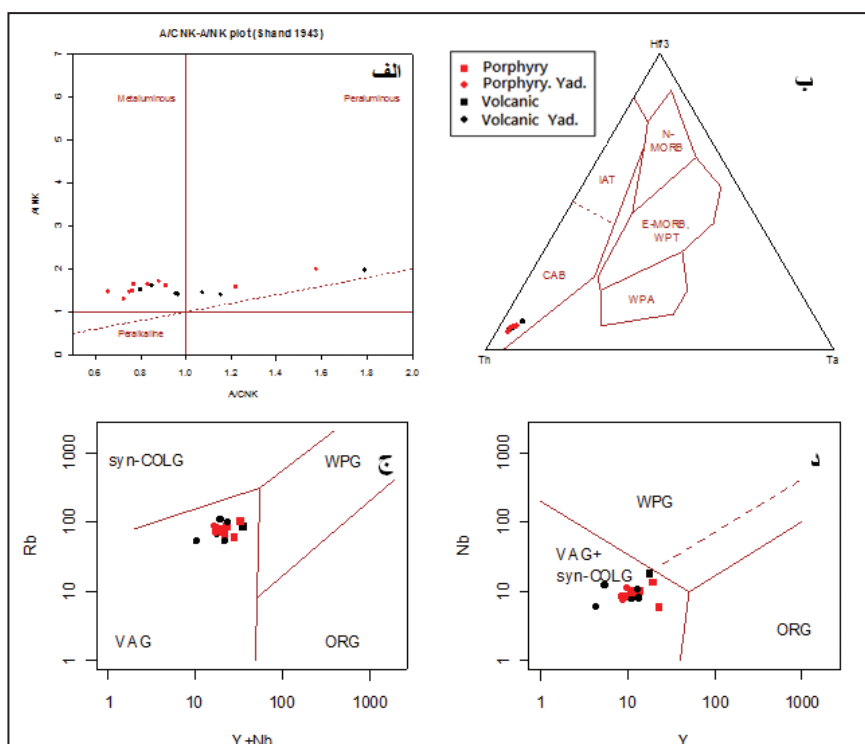
شکل ۶- موقعیت نمونه‌های برداشت شده از کانسار مسجدداغی در نمودار TAS (Cox et al., 1979): الف) آتشفشانی؛ ب) توده نفوذی نیمه‌ژرف (راهتمای نمونه‌ها همانند شکل ۵).



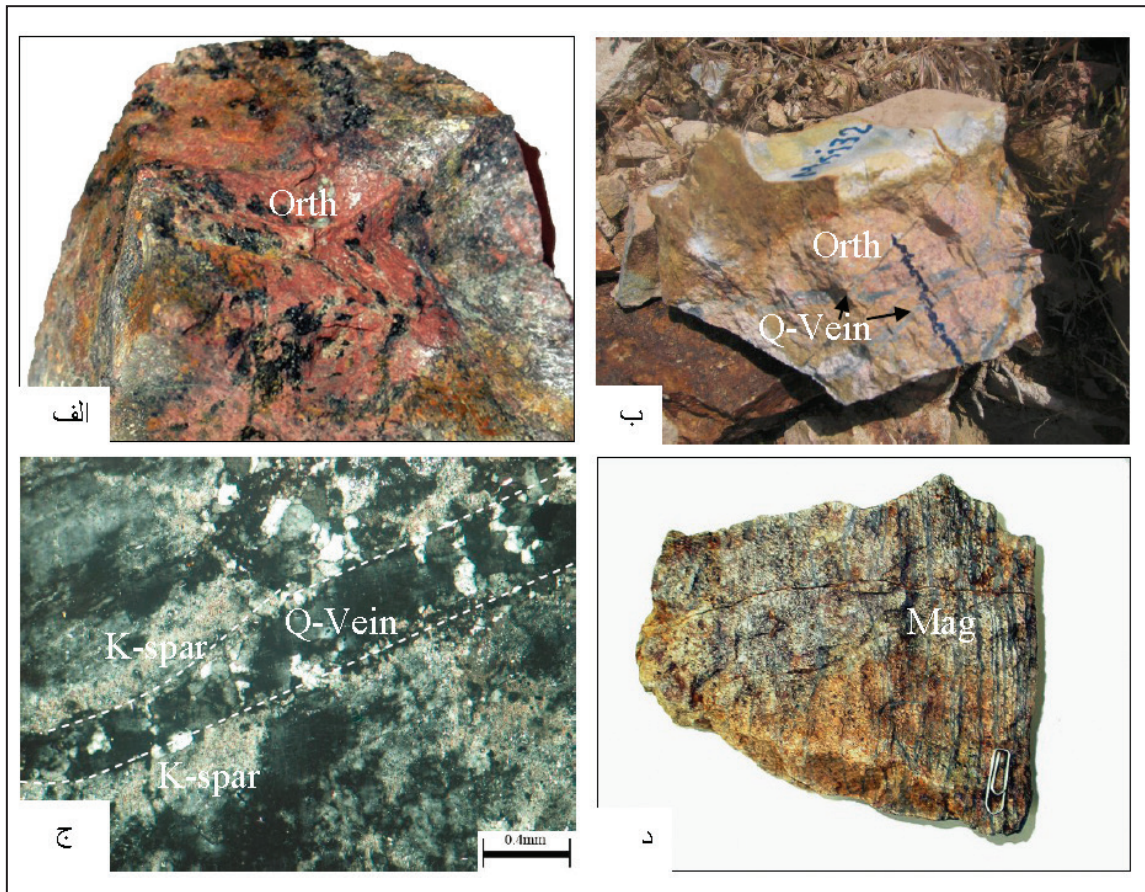
شکل ۷- نمودار عنکیوتی تغییرات عناصر فرعی و کمیاب از منطقه مسجداغی که با گوشته اولیه و بر پایه Sun and McDonough (1989) بهنجار شده‌اند (خطوط سرخ مربوط به توده دیوریت پورفیری و خطوط آبی مربوط به سنگ‌های آتشفشانی منطقه؛ نمونه‌ها مربوط به این مطالعه و یدالهی و همکاران، ۱۳۹۰ هستند).



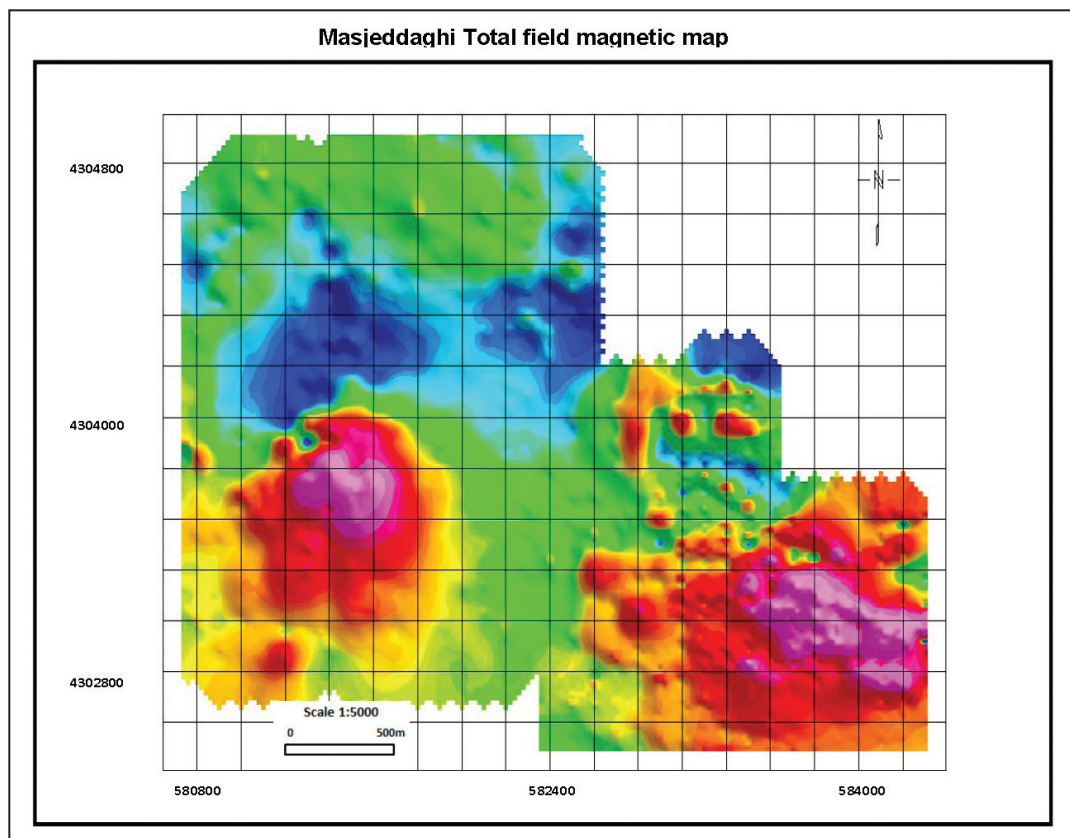
شکل ۸- نمودار توزیع عناصر خاکی کمیاب در نمونه‌های معرف توده‌های دیوریت پورفیری و سنگ‌های آتشفشانی منطقه مسجداغی که با مقادیر کندریتی و بر پایه Sun and McDonough (1989) بهنجار شده‌است (خطوط سرخ مربوط به توده دیوریت پورفیری و خطوط آبی مربوط به سنگ‌های آتشفشانی منطقه؛ نمونه‌ها مربوط به این مطالعه و یدالهی و همکاران، ۱۳۹۰ هستند).



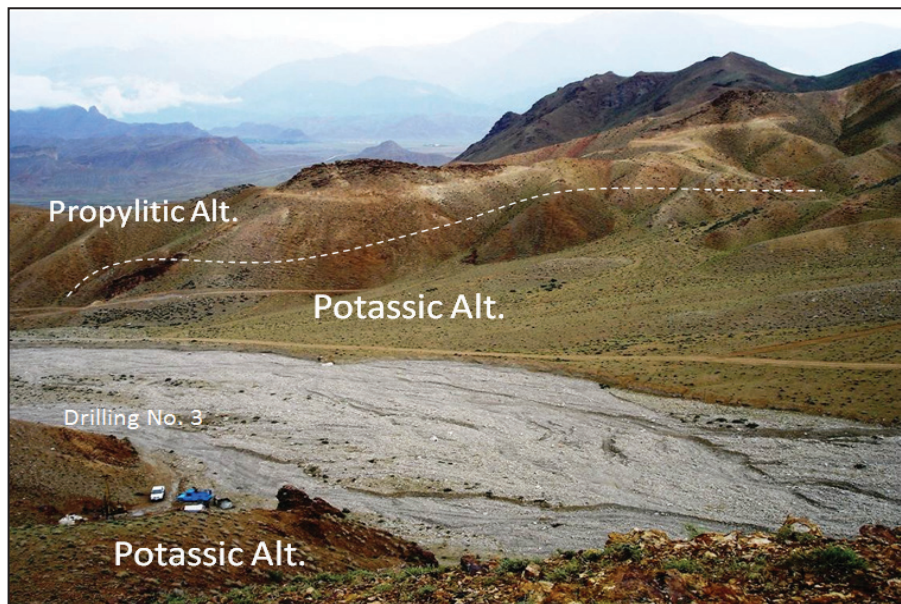
شکل ۹- جانمایی نمونه‌های معرف سنگ‌های آذرین کانسار مسجداغی در: الف) نمودار تفکیک نمونه‌های معرف مسجداغی بر پایه تفکیک شاخص آلومینیم (Shand, 1943)؛ ب) نمودار تفکیک جایگاه زمین‌ساختی بر پایه مقادیر عناصر فرعی زمین‌ساختی بر پایه مقادیر عناصر فرعی (Wood, 1980)؛ ج و د) نمودار تفکیک جایگاه زمین‌ساختی بر پایه مقادیر عناصر فرعی (Pearce et al., 1984).



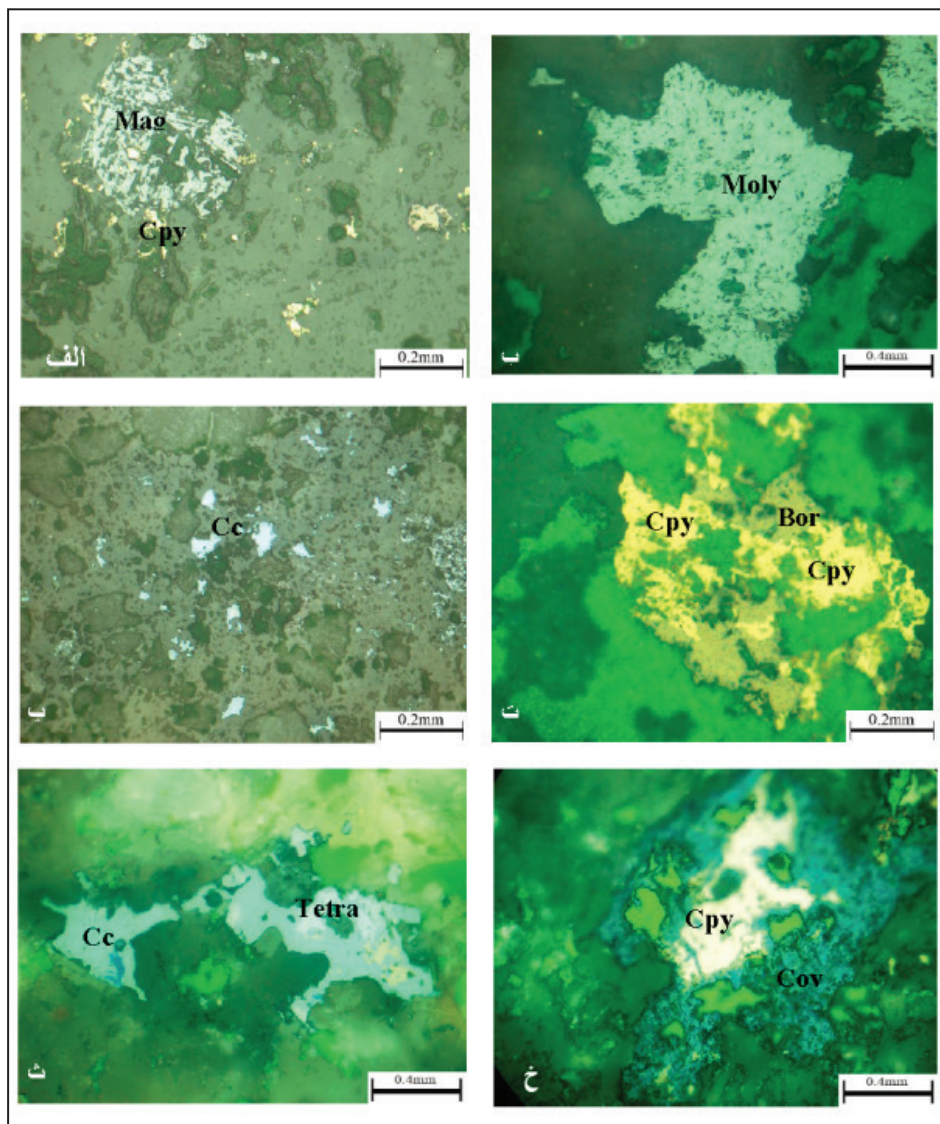
شکل ۱۰- الف) دگرسانی پتاسیک در مقیاس نمونه دستی، ارتوز برنگ صورتی به همراه مگنتیت (بخش تیره رنگ) که گاه به همایت تبدیل شده است؛ ب) ارتوز به رنگ صورتی به همراه رگچه‌های سیلیسی؛ ج) رگه و رگچه‌های سیلیسی نوع A در منطقه دگرسانی پتاسیک؛ د) رگچه‌های موازی مگنتیت (Sheeted Veins) در منطقه دگرسانی پتاسیک کانسار مسجدداغی.



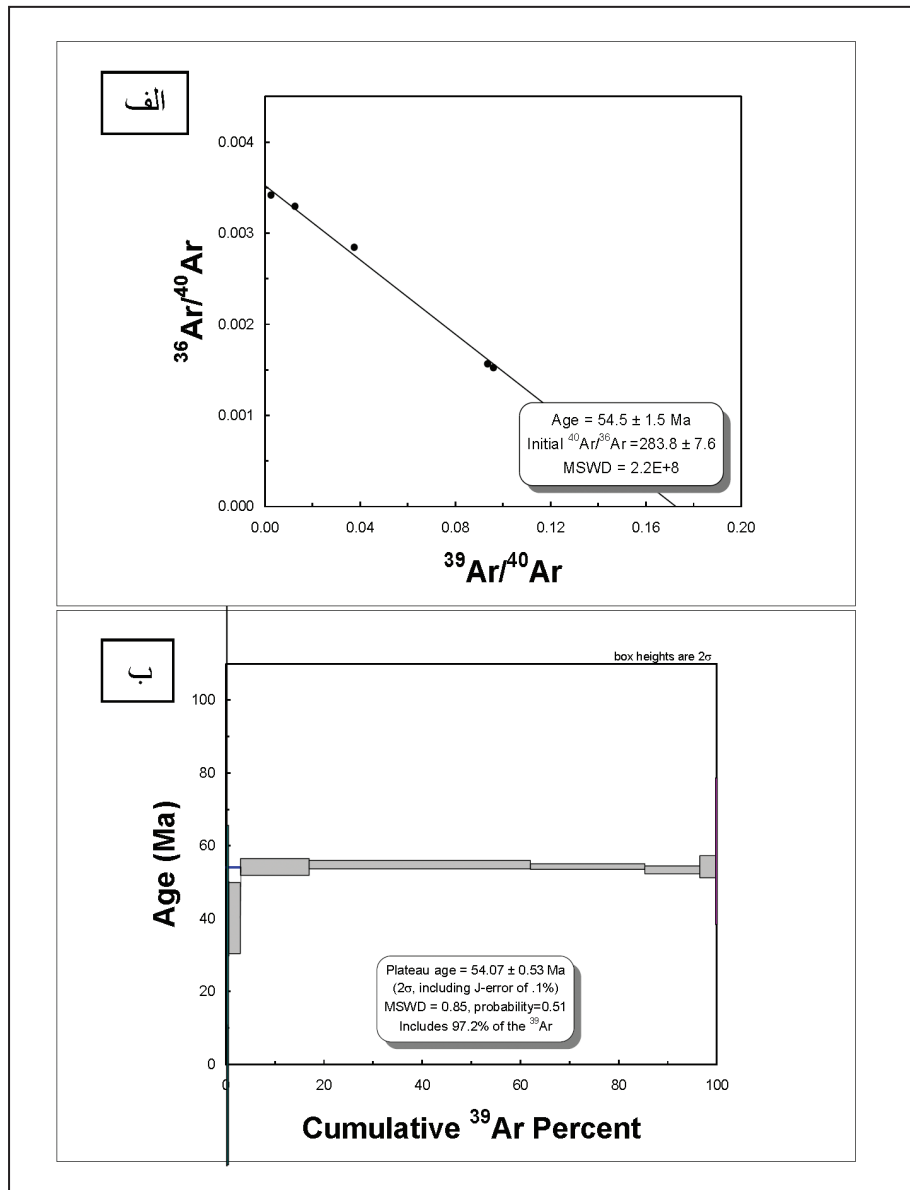
شکل ۱۱- نقشه ژئوفیزیک مغناطیسی محدوده مسجدداغی؛ بی‌هنجاری سمت چپ به خوبی با منطقه دگرسانی پتاسیک انطباق دارد (شرکت ملی صنایع مس ایران، ۱۳۸۷).



شکل ۱۲- نمای کلی از دره آریاچایی که توده نفوذی دیوریت پورفیری با زمینه صورتی رنگ (به دلیل وجود ارتوز فراوان) در پهنه پتاسیک دیده می شود.



شکل ۱۳- تصاویر میکروسکوپی از کانه های تشکیل دهنده کانسنگ در مسجدداغی. الف) مگنتیت و کالکوپیریت افشان، گمانه ۶، ژرفای ۲۵۰ متری؛ ب) مولیدنیت، گمانه یک، ژرفای ۴۸۴/۲۰ متری؛ پ) کالکوسیت افشان و ثانویه، گمانه ۴، ژرفای ۲۹۹ متری؛ ت) تبدیل کالکوپیریت به بورنیت، گمانه ۸، ژرفای ۵۶۶/۴۰ متری؛ ث) تبدیل کالکوپیریت به کالکوسیت و کولین، بورنیت و تراهدریت، گمانه ۴، ژرفای ۳۵۵ متری؛ خ) جانشینی کالکوپیریت توسط کولین، گمانه شماره ۲ مسجدداغی، ژرفای ۵۵ متری (Cpy = کالکوپیریت، Cc = کالکوسیت، Bor = بورنیت، Mal = مالاکیت، Moly = مولیدنیت، Mag = مگنتیت، Tetra = تراهدریت، Cov = کولیت).



شکل ۱۴- تعیین سن روی نمونه‌های بیوتیت ثانویه از پهنه پتاسیک مسجدداغی به روش Steam Heated. الف) منحنی ایزوکرون؛ ب) نمودار Plateau age.

جدول ۱- نتایج تجزیه شیمیایی سنگ‌های آتشفشانی و نفوذی نیمه‌ژرف در کانسار مسجدداغی (نمونه‌های با کد Yad از یدالهی و همکاران، ۱۳۹۰).

	MSJMNA	Mas15.458.3	Mas09-238	Mas02-29	Msj33-306	M01	M02	M08
Petrology	Vol	Porphyry	Porphyry	Porphyry	Porphyry	Vol	Vol	Vol
Sample	This study	This study	This study	This study	This study	Yad	Yad	Yad
SiO ₂	53.9	57.9	57	65.5	58.4	64.1	60.7	70.9
Al ₂ O ₃	17	15.7	15	16.5	17.8	13.9	16.2	14.55
Fe ₂ O ₃	5.8	5.4	4.7	3.6	4.7	3.07	2.1	0.93
CaO	5.6	5.5	5.8	1.8	4.8	1.14	2.9	2.77
Na ₂ O	3.9	4.7	3.3	4	4.9	4.41	4.7	4.9
K ₂ O	4.4	2.6	3.3	3.4	2.6	2.5	3.48	1.98
SrO	0.23	0.09	0.08	0.03	0.05			
Cr ₂ O ₃	0.02	nd	nd	nd	nd			
MgO	5.5	2.4	3.4	2.6	1.3	1.36	0.65	0.65
TiO ₂	0.77	0.44	0.76	0.54	0.55	0.34	0.46	0.2
MnO	0.07	0.06	0.05	0.08	0.15	0.09	0.32	0.07
P ₂ O ₅	0.55	0.21	0.37	0.15	0.25	0.18	0.21	0.08
Cl	0.02	0.05	0.03	nd	0.01			
SO ₃	0.34	4	5.1	1.3	1.1			
LOI	1.9	2.8	4.2	2.2	4.1			
Ag	0.13	0.42	0.75	0.05	0.14			
Al	83033	80333	76742	84068	93522			
As	13.9	2.5	0	0.7	9			
Be	2	1.1	2.1	1.8	1.3			
Bi	0.1	0.4	0.2	0.1	0			
W	1.3	1.3	2.2	1	0.9	6	42	1
Zn	36.7	56.3	25.8	35.1	76.4	254	1785	135
V	175	99	108	91	136	87	119	22
Se	0.08	1.49	2.04	0.4	0.14			
Te	0.3	0.2	0.2	0.1	0.4			
Re	0	0.01	0.17	0.03	0			
S	1073	11670	13707	3787	3494			
Sb	0.4	0.2	0.2	0.2	0.8			
Sc	17	12	14	14	12			
Na	27521	32606	23411	27135	35047			
Ni	20	17	22	10	7	15	21	9
Li	46	9.3	7.9	4.8	16.9			
Mg	30202	13610	18937	13990	7255			
Mn	542	441	272	584	983			
Hg	0.01	0	0.01	0.01	0.01			
Cs	3	1.8	2.1	0.5	9.5	1.25	3.18	3.78
Tl	0.9	0.2	0.7	0.4	0.7			
Rb	85.4	62.9	104.9	60	83	54.1	110	53.2
Ba	1621.1	837.8	526.8	1140.5	805.3	815	1820	671
Th	24.9	11.25	8.96	11.6	5.84	10.4	12.7	7.22

ادامه جدول ۱-

	MSJMNA	Mas15.458.3	Mas09-238	Mas02-29	Msj33-306	M01	M02	M08
Petrology	Vol	Porphyry	Porphyry	Porphyry	Porphyry	Vol	Vol	Vol
Sample	This study	This study	This study	This study	This study	Yad	Yad	Yad
U	5.44	2.29	2.32	4.49	1.51	2.4	3.26	1.92
Nb	17.5	9.6	13.1	6	9.8	7.9	8.2	5.9
K	32784	19406	24796	25184	19924			
La	98.31	28.44	36.16	21.67	23.32	22.3	37.7	17.9
Ce	158.05	43.22	59.71	35.19	37.83	38	58	31.8
Pb	14.7	15.4	4.9	4.5	8.1	56	49	184
Pr	18.57	5.12	7.73	4.58	4.7	3.82	6.32	3.31
Mo	0.5	7.1	140.3	2.2	0.8	45	25	3
Sr	1818.8	829.3	737.6	309.2	499.2	609	508	417
P	1859	649	1266	494	852			
Nd	66.3	19.24	30.18	18.24	17.89	13.3	22.2	11.8
Sm	9.98	3.01	5.37	3.82	3.01	2.12	3.4	1.9
Zr	232	22	20	18	71	110	116	87
Hf						2.6	3.1	2.4
Eu	2.75	0.96	1.59	1.02	1.02	0.7	1.13	0.56
Sn	1.2	1.1	1.3	1.9	0.7			
Ti	4671	2574	4406	3088	3261			
Gd	7.33	2.76	4.91	3.99	2.93	2.39	3.71	1.82
Tb	0.76	0.36	0.63	0.58	0.38	0.32	0.44	0.21
Dy	3.66	2.04	3.45	3.49	2.27	1.77	2.18	0.86
Y	17.45	12.34	19.03	22.09	13.28	13.4	10.7	4.3
Ho	0.63	0.4	0.64	0.71	0.45	0.4	0.43	0.16
Er	1.63	1.17	1.8	2.07	1.34	1.25	1.27	0.41
Tm	0.28	0.23	0.34	0.41	0.26	0.17	0.16	0.04
Yb	1.53	1.24	1.8	2.44	1.51	1.34	1.09	0.36
Lu	0.25	0.21	0.28	0.42	0.26	0.22	0.17	0.06
Cu	23.2	1169.6	2603.5	53.5	76.6	4760	260	42
Fe_	35969	33999	30594	23633	30723			
Ca	37444	36900	40341	11842	33714			
Cd_	0.1	0.16	0.17	0.04	0.05			
Co	13.5	10.7	14.5	7.9	7.7	806	17.9	3.3
Cr	45	31	41	12	10	130	160	400
Ga						16.2	17.8	17.2
Ta						0.5	0.5	0.5

ادامه جدول ۱-۱

	M16	M34	Ma04-06	Ma06-29	Ma07-02	Ma10-16	Ma11-26	Ma14-05	Ma40
Petrology	Vol	Vol	Porphyry	Porphyry	Porphyry	Porphyry	Porphyry	Porphyry	Vol
Sample	Yad	Yad	Yad	Yad	Yad	Yad	Yad	Yad	Yad
SiO ₂	66.7	62.2	59.3	60	57.3	59.6	58.4	61.8	63.6
Al ₂ O ₃	16.3	16.45	14.95	15.85	14.1	15.25	15.75	17.7	15.6
Fe ₂ O ₃	0.66	1.84	1.97	1.7	1.75	1.23	2.19	1.95	1.93
CaO	0.45	2.17	4.97	4.83	6.56	5.41	5.21	1.28	4.78
Na ₂ O	3.36	4.9	4.79	3.66	3.62	4.71	4.59	3.76	3.72
K ₂ O	2.55	3.08	3.39	2.97	3.34	2.52	1.8	2.51	3.29
SrO									
Cr ₂ O ₃									
MgO	0.54	1.9	2.13	3.02	2.1	2.49	2.72	1.52	1.9
TiO ₂	0.43	0.45	0.38	0.42	0.39	0.47	0.48	0.46	0.5
MnO	0.01	0.19	0.04	0.11	0.04	0.04	0.04	0.13	0.07
P ₂ O ₅	0.018	0.26	0.2	0.17	0.22	0.26	0.27	0.26	0.23
Cl									
SO ₃									
LOI									
Ag									
Al									
As									
Be									
Bi									
W	4	2	1	2	1	2	3	5	3.2
Zn	16	122	67	65	48	79	66	426	30
V	100	112	104	105	96	103	126	119	3.2
Se									
Te									
Re									
S									
Sb									
Sc									
Na									
Ni	3.3	9	14	29	12	16	14	23	13
Li									
Mg									
Mn									
Hg									
Cs	3	3.24	1.74	3.53	14.6	1.52	4.05	20.4	1.18
Tl									
Rb	68.5	78.5	83.9	87.7	70.5	79.1	67	79.9	99.7
Ba	1775	1600	1100	1130	1075	853	641	1235	909
Th	21.1	16.15	12.55	10.95	10.35	10.8	16.3	15.6	3.2

ادامه جدول ۱-

	M16	M34	Ma04-06	Ma06-29	Ma07-02	Ma10-16	Ma11-26	Ma14-05	Ma40
Petrology	Vol	Vol	Porphyry	Porphyry	Porphyry	Porphyry	Porphyry	Porphyry	Vol
Sample	Yad	Yad	Yad	Yad	Yad	Yad	Yad	Yad	Yad
U	3.48	4.01	2.46	3.11	2.87	3.08	4.1	2.49	3.2
Nb	12.3	10.1	8.4	7.6	8.5	11.1	9.9	10.2	10.9
K									
La	41.1	40.4	32.7	24.3	30.7	32.8	40.1	35.6	36.2
Ce	74.1	67.9	53.4	40.7	51.8	53.9	64.9	60.3	63.4
Pb	19	25	22	16	21	52	20	30	3.2
Pr	8.39	7.11	5.45	4.31	5.26	5.56	6.63	6.15	6.68
Mo	9	2	15	7	40	111	13	26	5
Sr	269	956	759	606	1050	887	1045	455	781
P									
Nd	27	24.1	18.5	14.8	18	18.9	22.7	21.5	24.7
Sm	2.56	3.89	2.95	2.43	2.71	2.92	3.63	3.37	4.02
Zr	156	130	120	108	102	114	124	146	113
Hf	4.2	3.5	3.1	2.8	2.7	3	3.2	3.9	3.2
Eu	0.58	1.09	0.9	0.7	0.79	0.92	1.08	1.03	1.09
Sn									
Ti									
Gd	2.36	3.42	2.72	2.3	2.46	2.85	3.26	3.13	3.81
Tb	0.24	0.44	0.34	0.3	0.32	0.36	0.42	0.42	0.48
Dy	0.94	2.13	1.65	1.53	1.48	1.73	2.02	1.96	2.37
Y	5.4	11.5	9.4	8.7	8.4	9.5	10.8	11	12.7
Ho	0.2	0.44	0.33	0.32	0.3	0.36	0.39	0.43	0.47
Er	0.8	1.29	1.03	0.99	0.92	1.12	1.18	1.3	1.38
Tm	0.11	0.16	0.13	0.12	0.12	0.15	0.17	0.17	0.19
Yb	0.98	1.28	1.06	0.98	0.89	1.06	1.1	1.26	1.31
Lu	0.17	0.22	0.17	0.16	0.15	0.17	0.19	0.2	0.22
Cu	23	34	727	53	2590	2430	316	1165	39
Fe_									
Ca									
Cd_									
Co	3.3	9.3	8.6	11.6	8.6	10.1	12.3	10.7	10.7
Cr	180	170	180	120	190	130	110	100	150
Ga	18.4	18.5	16.6	17.2	15.6	16	17.4	19.7	16.9
Ta	0.8	0.6	0.5	0.5	0.5	0.6	0.6	0.6	0,8

جدول ۲- نتایج تجزیه سن سنجی روی بیوتیت‌های ثانویه به روش آرگون-آرگون در کانسار مسجدداغی.

Incremental Heating (%)	³⁹ Ar(k) (Ma)	Age ± 2σ (%)	⁴⁰ Ar(r) (%)	³⁹ Ar(k)	K/Ca ± 2σ
2.00 W	0.10	-38.77 ± 167.20	1.02	0.10	0.257 ± 0.055
2.20 W	0.44	19.82 ± 45.66	2.63	0.34	0.975 ± 0.139
2.50 W	2.83	40.12 ± 9.72	15.90	2.39	3.750 ± 0.796
3.00 W	16.79	54.04 ± 2.32	54.84	13.96	10.502 ± 1.548
3.60 W	61.96	54.69 ± 1.18	69.41	45.17	5.539 ± 0.245
4.00 W	85.27	54.27 ± 0.77	86.37	23.30	1.836 ± 0.075
4.60 W	96.47	53.22 ± 1.04	88.67	11.20	0.270 ± 0.011
5.80 W	99.67	54.15 ± 3.03	53.58	3.20	0.042 ± 0.002
6.80 W	100.00	58.36 ± 20.06	20.00	0.33	0.009 ± 0.000

Isotope Ratios	40(r)/39(k)	1σ	40(r+a)	1σ	⁴⁰ Ar/ ³⁹ Ar	1σ	³⁷ Ar/ ³⁹ Ar	1σ	³⁶ Ar/ ³⁹ Ar	1σ
2.00 W	4.008493	8.55027	0.38142	0.00019	391.24042	4.60323	2.12336	0.22889	1.33812	0.03289
2.20 W	2.082964	2.41202	0.26508	0.00046	79.13494	0.77824	0.55964	0.04000	0.26086	0.00853
2.50 W	4.239461	0.51934	0.62907	0.00065	26.66689	0.15481	0.14558	0.01544	0.07588	0.00181
3.00 W	5.731829	0.12463	1.43793	0.00569	10.45211	0.08052	0.05199	0.00383	0.01594	0.00039
3.60 W	5.802042	0.06337	3.71859	0.00476	8.35886	0.04596	0.09857	0.00218	0.00863	0.00019
4.00 W	5.757011	0.04130	1.52821	0.00352	6.66420	0.03915	0.29738	0.00605	0.00310	0.00008
4.60 W	5.643867	0.05579	0.70112	0.00193	6.35563	0.04356	2.01828	0.04007	0.00295	0.00013
5.80 W	5.744133	0.16334	0.33826	0.00026	10.62300	0.07167	12.83776	0.23250	0.02025	0.00055
6.80 W	6.197954	1.08271	0.10162	0.00029	29.75040	0.28766	56.46150	1.25798	0.09635	0.00360

کتابنگاری

- اکبرپور، ا.، رسا، ا.، مهرپرتو، م. و محمدی، ب.، ۱۳۸۵- بررسی کانه‌زایی طلا در محدوده مسجد داغی، جلفا، فصلنامه علوم زمین، زمستان ۱۳۸۵، دوره ۱۶، شماره ۶۲، ص. ۴۲ تا ۵۱.
- حسن پور، ش.، ۱۳۸۹- مالتورژنی و کانه زایی مس و طلا در زون ارسباران، شمال غرب ایران، رساله دکترا، دانشگاه شهید بهشتی، ۳۰۳ ص.، منتشر نشده.
- حسن پور، ش.، رسا، ا.، حیدری، م. و اسکویی، ر.، ۱۳۸۷- کاربرد اکتشافات ژئوفیزیکی بروش مغناطیسی در اکتشاف زون پتاسیک در کانسار مسجدداغی، دوازدهمین همایش انجمن زمین شناسی ایران، اهواز، ایران.
- سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۱۳۷۸- تهیه نقشه زمین شناسی مسجدداغی در مقیاس ۱:۲۰۰۰، گزارش داخلی، منتشر نشده.
- شرکت ملی صنایع مس ایران، ۱۳۸۷الف- مطالعات تهیه نقشه زمین شناسی و آلتراسیون در محدوده هفت چشمه در مقیاس ۱:۵۰۰۰، توسط شرکت زرناب اکتشاف، گزارش داخلی، منتشر نشده.
- شرکت ملی صنایع مس ایران، ۱۳۸۷ب- مطالعات اکتشافات ژئوفیزیکی در کانسار مسجدداغی، آذربایجان شرقی، گزارش داخلی توسط شرکت صمان کاو، منتشر نشده.
- کلاگری، ع. ا. و شیخ، س.، ۱۳۸۶- فاکتورهای کنترل کننده توزیع عناصر در سیستم پورفیری مسجدداغی (شرق جلفا، آذربایجان شرقی)، بیست و ششمین گردهمایی علوم زمین.
- نیوی، م. ح.، ۱۳۵۵- دیباچه‌ای بر زمین شناسی ایران؛ انتشارات سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۱۰۹ ص.
- یداللهی، ر.، کنعانیان، ع.، معانی جو، م.، سرجوبیان، ف. و حسن پور، ش.، ۱۳۹۰- خاستگاه ماگماتیک آداکتی در منطقه مسجد داغی جلفای آذربایجان شرقی، مجله بلورشناسی و کانی شناسی ایران ۱۹، ۲، ص. ۲۹۷ تا ۳۱۰.

References

- Brenan, J. M., Shaw, H. F., Phinney, D. L. and Ryerson, F. J., 1994- Rutile/aqueous fluid partitioning of Nb, Ta, Hf, Zr, U and Th: Implications for high field strength element depletions in island arc basalts: *Earth and Planetary Science Letters*, v. 128: p. 327–339.
- Cox, K. G., Bell, J. D. and Pakhurst, R. J., 1979- *The Interpretation of Igneous Rocks*, London, Allen and Un- Win, 450.
- Davidson, J. P., 1996- Deciphering mantle and crustal signatures in subduction zone magmatism: *Geophysical Monograph* 96: p. 251–262.
- De Hoog, J. C. M., Mason, P. R. D. and van Bergen, M. J., 2001- Sulfur and chalcophile elements in subduction zones: Constraints from a laser ablation ICP-MS study of melt inclusions from Galunggung Volcano, Indonesia: *Geochimica et Cosmochimica Acta*, v. 65: p. 3147–3164.
- Foley, S. F., Barth, M. G. and Jenner, G. A., 2000- Rutile/melt partition coefficients for trace elements and an assessment of the influence of rutile on the trace element characteristics of subduction zone magmas: *Geochimica et Cosmochimica Acta*, v. 64: p. 933–938.
- Hassanpour, S. and Alirezaei, S., 2013- Studies in economic geology and age assesmentmethod (Ar/Ar) deposits copper-gold porphyry Masjeddaghy: 32th National and 1th International Geosciences Congress, Geological survey of Iran.
- Irvine, T. N. and Baragar, W. R. A., 1971- A guide to the chemical classification of common volcanic rocks. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 8, 523-548.
- Pearce, J. A., Harris, N. B. W. and Tindle, A. G., 1984- Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks", *Journal of Petrology*, 25, 956-983.
- Peccrillo, A. and Taylor, S. A., 1976- Geochemistry of Eocene calc-alkaline volcanic rocks from the Kastamonu area, Northern.
- Renne, P. R., Swisher, C. C. III, Deino, A. L., Karner, D. B., Owens, T. and DePaolo, D. J., 1998- Intercalibration of standards, absolute ages and uncertainties in $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating. *Chem Geol.*, 145(1–2):117–152.
- Richards, J. R., 2003- Tectono-magmatic precursors for porphyry Cu-(Mo-Au) deposit formation, *economic Geology*, 98 (8), 1515-1533.
- Shand, S. J., 1943- *Eruptive Rocks: Their Genesis, Composition, Classification, and Their Relation to Ore-Deposits with a Chapter on Meteorite*, New York: John Wiley and Sons.
- Sillitoe, R. H. and Perelló, J., 2005- Andean copper province: Tectonomagmatic settings, deposit types, metallogeny, exploration, and discovery: Hedenquist, J. W., Thompson, J. F. H., Goldfarb, R. J., and Richards, J. P., eds., *Economic Geology 100th Anniversary Volume*, p. 845–890.
- Stocklin, J. and Setudehnia, A., 1972- *Lexique Stratigraphique International Volume III, ASIE centnational de la Recherche scientifique*. 15 quai Anodle-France 75 (paris-VII), Geological Survey of Iran, Report no. 18, second edition, 376 p.
- Sun, S. S. and McDonough, W. F., 1989- Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: Implications for mantle composition and processes. In: Saunders, A.D., and Norry, M.J., (ed) *Magmatism in the ocean basins*, Geologred Society, London. spec. pub., 42, 313-345.
- Tatsumi, Y., Hamilton, D. L. and Nesbitt, R. W., 1986- Chemical characteristics of fluid phase released from a subducted lithosphere and the origin of arc magmas: Evidence from high pressure experiments and natural rocks: *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, v. 29: p. 293–309.
- Titley, S. R. and Beane, R. E., 1981- Porphyry copper deposits, Part 1. Geologic settings, petrology, and tectonogenesis: *Economic Geology*, 75th Anniversary Volume, 214-235.
- UN (United Nations), 2000- *Metallogeny of northern Azerbaijan*.
- Wood, D. A., 1980- The application of a Th-Hf-Ta diagram to problems of tectonomagnetic classification and to establishing nature of basaltic lavas of the British Tertiary Volcanic Province. *Earth and Planetary Science Letters*: 50, 11–30.

Eocene Masjeddaghi porphyry Cu-Au deposit; an example of island arc porphyry type deposit in NW Iran

S. Hassanpour^{1*} and S. Alirezaei²

¹Assistant Professor, Department of Geology, Payame Noor University, Iran

²Associate Professor, Department of Geology, Faculty of Earth Sciences, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

Received: 2016 January 27

Accepted: 2016 November 14

Abstract

The Masjeddaghi Cu-Au deposit is located to the southeast of the Arasbaran zone, NW Iran, to the south of the Lesser Caucasus. Mineralization in Masjeddaghi is associated with an Eocene dioritic subvolcanic pluton intruded into older volcanic and sedimentary rocks. The Masjeddaghi intrusive body is high-K, calc alkaline, and meta-aluminous, and formed in an island arc subduction/collision setting. Hydrothermal alteration is distinguished by a potassic core marked by secondary biotite and K-spar that grades outward into a chlorite-rich propylitic halo. The ore minerals include chalcopyrite, associated with minor chalcocite, bornite, tetrahedrite, and trace molybdenite. Pyrite and magnetite are common associates. The Masjeddaghi deposit is elliptical in plan view, 500 x 400 m in diameters, and mineralization has been traced for several hundred meters from surface exposures. ⁴⁰Ar/³⁹Ar geochronology on secondary biotite from potassic alteration zone indicates that mineralization, and by corollary, the emplacement and crystallization of the Masjeddaghi porphyritic intrusion, occurred in 54.07 ± 0.53 Ma. The Masjeddaghi ore deposit shows geology, mineralization and alteration characteristics comparable to those typical of island arc type porphyry Cu-Au systems. Masjeddaghi ore deposit shows geology, mineralization and alteration characteristics similar to island arc porphyry type systems.

Keywords: Porphyry Cu-Au, Masjeddaghi, Island Arc, Eocene, Azerbaijan, Iran

For Persian Version see pages 43 to 58

*Corresponding author: Sh. Hassanpour; E-mail: Hassanpour@pnu.ac.ir