

مطالعه کانی سازی مولبدن در نوار قره داغ (اردوباد) - شیورداغ با تأکید بر سنگ شناسی، ژئوشیمی و دگرسانی توده های نفوذی میزبان (شمال باختر ایران)

قهرمان سهرابی^{۱*}، محمدرضا حسین زاده^۲، علی اصغر کلاگری^۳ و بهزاد حاج علیلو^۴

^۱ دانشجوی دکترا، گروه زمین شناسی، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

^۲ دانشیار، گروه زمین شناسی، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

^۳ استاد، گروه زمین شناسی، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

^۴ دانشیار، دانشگاه پیام نور، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۰۷/۱۰ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۰۱/۱۰

چکیده

محدوده مورد مطالعه در شمال استان آذربایجان شرقی (شمال باختر ایران) واقع شده است. مهم ترین توده های نفوذی موجود در منطقه شامل باتولیت های قره داغ و شیورداغ و استوک های پورفیری سونگون و هفت چشمه هستند. مطالعات پترولوژیکی و پتروگرافی نشان می دهد که ترکیب توده های نفوذی از گابرو، دیوریت، مونزونیت، گرانودیوریت تا گرانیت در تغییر است. این توده ها بیشتر متاآلمینوس، کالک آلکالن با پتاسیم متوسط تا بالا و متعلق به کمان های آتشفشانی (VAG) و از نوع I هستند. مهم ترین دگرسانی ها در محدوده های کانه دار شامل سیلیسی، پتاسیک، پروپیلیتیک، فلیک و آرژلیک است. کانه زایی مولبدن بیشتر در رگه ها و رگچه های کوارتزی واقع در زون پتاسیک (سیستم های پورفیری) و رگه ای و در زون اندوساکارن کانسارهای اسکارنی همراه با کانی گارنت رخ داده است. میزان Mo در توده های تفریق یافته و اسیدی بیوتیت دار با مقادیر بالای Si، K، Rb، Ba و عناصر LREE افزایش یافته است. غنی شدگی توده های نفوذی از عناصر K، Rb، Ba و تهی شدگی از عناصر Y، Ta، Zr، Yb و Nb نشان دهنده متاسوماتیسم گوشته بالایی توسط پوسته اقیانوسی فرورونده، سپس تولید ماگما و بالا آمدن آن از پوسته نسبتاً ستر است. توده هایی که دارای کانه زایی مولبدن هستند، عمدتاً دارای ترکیب کوارتز مونزونیتی و گرانودیوریتی هستند.

کلیدواژه ها: قره داغ - شیورداغ، دگرسانی، کانه زایی، مولبدن، توده نفوذی، ژئوشیمی، پترولوژی.

*نویسنده مسئول: قهرمان سهرابی

E-mail: q_sohrabi@yahoo.com

۱- پیش نوشتار

فرورانشی دانسته که جهت فرورانش آن از شمال به طرف جنوب بوده است. آقازاده و همکاران (۱۳۸۸) و Aghazadeh et al. (2010, 2011) در بخش خاوری نوار قره داغ - شیورداغ از توده شیورداغ (اگر) تا توده خانکندی (مشکین شهر) مطالعات مبسوطی در خصوص ژئودینامیک، ژئوشیمی، پتروژنز و پتروگرافی توده های نفوذی انجام داده است. طی مطالعات نامبرده دو فاز ماگمایی دیوریتی - گرانودیوریتی، کالک آلکالن (قدیمی، ۳۱ میلیون سال) و فاز مونزودیوریتی - مونزونیتی با گرایش شوشونیتی (جوان تر، ۲۳ میلیون سال) شناسایی و تفکیک شده است. حسین زاده (۱۳۷۸)، عظیم زاده (۱۳۷۸)، حسن پور (۱۳۷۹) مطالعاتی در زون های اسکارنی دامنه جنوبی شیورداغ (اسکارن های مزرعه، گودال، زندآباد و انجرد) انجام داده اند و به نحوه تشکیل و گسترش آنها (اندوساکارن و اگزوساکارن) و مراحل مختلف اسکارن زایی مس و آهن (مراحل پیشرونده و پسرونده) اشاره داشته اند. مطالعات انجام گرفته توسط برخی از پژوهشگران نشان می دهد که زون متالوژنی قره داغ - شیورداغ با زون قفقاز کوچک (ارمنستان و نخجوان) از نظر نوع ماگماتیسم و کانه زایی تشابهات زیادی داشته و هر دو مرتبط با یک فرایند تکتونوماگمایی هستند. در هر دو زون کانه زایی قابل توجهی از عناصر مس، مولبدن و طلا به اشکال مختلف (افشان، رگه ای و گاهی اسکارنی) رخ داده است. در مباحث زمین شناسی و منابع معدنی جمهوری آذربایجان (U. N., 2000) به طور کامل به فرایندهای کانه زایی در قفقاز کوچک پرداخته شده است. در این گزارش برخی بخش های آن سوی مرز گسترش زون های کانه دار تا کنار رودخانه ارس نشان داده شده است و ادامه آنها در بخش ایرانی توسط نگارندگان و زمین شناسان ایرانی شناسایی شده است. بخشی از کانه زایی در این زون در ارتباط با باتولیت مگری - اردوباد - قره داغ بوده که بین ایران، ارمنستان و جمهوری نخجوان واقع شده است. این باتولیت حدود ۱۷۰۰ کیلومتر مربع وسعت داشته و حدود ۷۰۰ کیلومتر مربع از آن در ایران رخنمون

ناحیه مورد مطالعه بر اساس زون بندی های زمین شناسی ایران در زون البرز باختری - آذربایجان (افتخارنژاد، ۱۳۵۹) و ایران مرکزی (آقناباتی، ۱۳۸۳) قرار می گیرد. اما بر اساس مطالعات اخیر (حسن پور، ۱۳۸۹؛ رضایی اقدم و سهرابی، ۱۳۸۹؛ مختاری، ۱۳۸۷؛ سهرابی، ۱۳۸۲؛ UN, 2000; Koçyigit et al., 2001) این محدوده از نظر چینه شناسی، ماگماتیسم، زمین ساخت و کانه زایی با زون قفقاز کوچک (ارمنستان و نخجوان) مشابهت دارد. واحدهای کرتاسه (آهک و شیل)، نهشته های فلیشی و سنگ های آتشفشانی پالئوسن و ائوسن گسترده ترین واحدهای چینه شناسی در این منطقه هستند. آثار فعالیت های آتشفشانی شدید ائوسن به همراه داسیت های میوسن گستره زیادی از منطقه را پوشانده است. بر اثر حرکات کوهزایی فاز پیرنه در آغاز الیگوسن، توده های نفوذی متعدد مانند باتولیت های گرانیتویدی قره داغ (اردوباد)، شیورداغ و اهر و نفلین سینیت کلیر به داخل سنگ های آتشفشانی - رسوبی ائوسن و واحدهای کرتاسه نفوذ کرده و موجب چین خوردگی، دگرسانی و کانه زایی در آنها شده است. در محدوده مورد مطالعه روند عمومی اکثر ساختارهای زمین شناسی (چین ها، گسل ها، دایک ها و رگه های معدنی) NW-SE و گاهی E-W و به ندرت NE-SW می باشد. این وضعیت نشانگر شمالی - جنوبی بودن تنش اصلی مؤثر بوده است. کریم زاده ثمرین و همکاران (۱۳۸۱)؛ حسن پور (۱۳۸۹)، سهرابی (۱۳۸۵)، رضایی اقدم و سهرابی (۱۳۸۹)؛ مختاری (۱۳۸۷) و مختاری و همکاران (۱۳۹۲) مطالعاتی در خصوص زون بندی و کانه زایی Cu-Mo-Au در زون قره داغ انجام داده و به تشابهات این زون با قفقاز کوچک اشاره داشته اند. (Zakeri et al. (2011) در مورد ترکیب شیمیایی بیوتیت های باتولیت قره داغ مطالعاتی انجام داده و به ارتباط آنها با کانه زایی Cu-Mo-Au اشاره کرده اند. حسن پور (۱۳۸۹) مطالعات گسترده ای در خصوص متالوژنی و ژئودینامیک Cu-Au از ناحیه جلفا تا منطقه سیلان انجام داده است. ایشان ماگماتیسم و کانه زایی در این محدوده را با داده های علمی و معتبر در ارتباط با زون

از نوع گرانودیوریت و مونزونیت بوده اما نفوذی‌های با ترکیب گابرو، دیوریت، کوارتز مونزونیت، بیوتیت گرانیت هم با وسعت کمتر در کنار آنها یافت می‌شوند. در سونگون توده‌های نفوذی با ترکیب گابرو مشاهده نشده ولی در شیورداغ افزون بر نفوذی‌های یاد شده، سینیت و سینوگرانیت (Aghazadeh et al., 2011) نیز مشاهده شده است. نوع و درصد کانی‌های تشکیل‌دهنده در سنگ‌های نفوذی مرتبط با کانه‌زایی در جدول ۱ با یکدیگر مقایسه شده است.

۳-۱. باتولیت قره‌داغ: این باتولیت در شمال توسط واحد دگرگونی از نوع اسلیت و میکاشیست احاطه شده است. در بخش‌های باختری و جنوبی، واحدهای آهکی کرتاسه بالایی رخنمون دارند. در همبری توده نفوذی با واحدهای آهکی کرتاسه بالایی اسکارن‌زایی رخ داده است (اسکارن‌های پهناور، کمتال، آوان و آستامال). مطالعات سنگ‌شناسی و سنگ‌نگاری توسط امینی‌فضل (۱۳۷۳)، سهرابی (۱۳۸۲) و مختاری (۱۳۸۷) نشان می‌دهد که این باتولیت در چندین مرحله نفوذ کرده و در هر مرحله متحمل تفریق ماگمایی شده است، به طوری که در محدوده کانه‌زایی مس و مولیبدن، سنگ‌هایی با بیش از ۶۵ درصد سیلیس قابل مشاهده است. دامنه ترکیب رخنمون‌های موجود در توده نفوذی از گابرو، دیوریت، مونزونیت، کوارتز مونزونیت، گرانودیوریت و بیوتیت گرانیت در تغییر بوده و توسط دایک‌های پگماتی، آپلیتی، آندزیتی و ریولیتی، خصوصاً در محدوده کانه‌زایی قطع شده‌اند. مشاهده آنکلاوهای مافیک ریزدانه به صورت ماکروسکوپی، بافت آنتی‌راپاکیوی، و ادخال‌های آپاتیت و اسفن در مقاطع میکروسکوپی در بیشتر توده‌های نفوذی احتمالاً دلالت بر فرایند اختلاط ماگمایی دارد. توده‌های نفوذی در محدوده کانه‌دار عمدتاً دارای ترکیب گرانودیوریتی و کوارتز مونزونیتی (سهرابی، ۱۳۸۲؛ مختاری و همکاران، ۱۳۹۲) با کانی‌شناسی کوارتز، پلاژیوکلاز، پتاسیم‌فلدسپار، بیوتیت، هورنبلند و کانی‌های تیره هستند (شکل ۲-الف). در بیشتر توده‌های نفوذی منطقه کانی‌های آبدار هورنبلند و بیوتیت حضور دارند که نشان‌دهنده بالا بودن میزان آب ماگمای مولد آنهاست. در توده بیوتیت گرانیت، مقدار کانی بیوتیت تا ۲۰ درصد وزنی نیز می‌رسد (شکل ۲-ب). در بیشتر موارد کانی‌های هورنبلندها به بیوتیت و کانی‌های بیوتیت‌ها به کلریت تبدیل شده‌اند.

۳-۲. استوک هفت‌چشمه: استوک هفت‌چشمه از دو فاز کوارتز دیوریت، کوارتز مونزونیت، گرانودیوریت و ترکیب گابرویی تشکیل شده است (حسن‌پور، ۱۳۸۹). گابرو در اطراف استوک اسیدی وجود دارد. استوک هفت‌چشمه به داخل واحدهای آذرآواری و فیلیشوییدی کرتاسه بالایی-پالئوسن نفوذ کرده است. واحد گابرویی توسط کوارتز دیوریت و هر دو توده توسط کوارتز مونزونیت و آن هم توسط دایک‌های گرانودیوریتی، میکرودیوریتی و آندزیتی قطع شده‌اند (حسن‌پور، ۱۳۸۹؛ جدایی، ۱۳۸۹). قدیمی‌ترین واحد نفوذی منطقه، گابرویی بوده که به عنوان سنگ درونگیر کانسار هفت‌چشمه به شمار می‌رود (حسن‌پور، ۱۳۸۹). توده گابرویی با رنگ خاکستری تیره و فنوکریست‌های پلاژیوکلاز، پیروکسن و الیون با بافت افیتیکی از سایر توده‌ها قابل تفکیک است. سیالات گرمایی منتج از واحدهای نفوذی جوان ترسب دگرسانی پتاسیک و پروپیلیتیک در توده‌های اسیدی و گابرویی شده‌اند. افزون بر توده گابرویی توده‌های نفوذی کوارتز دیوریتی، کوارتز مونزونیتی و گرانودیوریتی به صورت استوک‌ها و دایک‌ها رخنمون یافته‌اند. توده کوارتز دیوریت دارای بیوتیت ریزدانه (ثانویه) فراوان و رگچه‌های کوارتز و پتاسیم‌فلدسپار است. از ویژگی این توده، حالت برشی شدن در برخی بخش‌ها و گسترش سیستم رگه و رگچه‌ای فراوان می‌باشد. کوارتز مونزونیت به رنگ روشن، به صورت استوک مانند و دایک بوده و توسط دایک‌های گرانودیوریتی نیز قطع شده است. کانی‌های تشکیل‌دهنده آن شامل پلاژیوکلاز با منطقه‌بندی متحدالمرکز و گاهی در حال تجزیه به سرسیت، پتاسیم‌فلدسپار، کوارتز به صورت نیمه‌شکل‌دار تا بی‌شکل اولیه و ثانویه (جانشینی و رگچه‌ای)، مقدار کمی پیروکسن در حال

یافته است. از معادن مهم زون قفقاز کوچک می‌توان به ذخایر مس و مولیبدن پورفیری کاجران، آگاراک (ارمنستان) و رگه‌های کوارتزی مولیبدن‌دار پاراگاجای (نخجوان) اشاره نمود. ادامه این زون در ایران با امتداد شمال‌باختر-جنوب‌خاور با نفوذ باتولیت‌های قره‌داغ، شیورداغ، کلبر، انزان، بزقوش، توده‌های نفوذی بین‌اهر و مشکین‌شهر و استوک‌های سونگون، هفت‌چشمه، خونرود، کرینگان، مسجد داغی، میوه‌رود و صاحب‌دیوان به داخل نهشته‌های آتشفشانی-رسوبی کرتاسه تا انوسن همراه است که سیالات گرمایی ناشی از آنها از ناحیه مشکین‌شهر تا ارس، خصوصاً در سنگ‌های آتشفشانی انوسن، هاله‌های دگرسانی گسترده‌ای را تشکیل داده است که انواع زون‌های آرژیلیکی، سیلیسی و آلونیتی در آنها خیلی شاخص است. همراه با این هاله‌های دگرسانی، کانه‌زایی فلزاتی مثل مس، طلا، مولیبدن، آرسنیک، آنتیموان، نقره، سرب و روی به اشکال مختلف افشان، رگه‌ای و استوک‌ورک رخ داده است. همچنین در همبری این توده‌ها با آهک‌های کرتاسه، زون‌های اسکارنی در اطراف باتولیت شیورداغ (اسکارن‌های مزرعه، انجر، زندآباد، گودال، مرزود و جوان‌شیخ) و باتولیت قره‌داغ (اسکارن‌های کمتال، پهناور، آوان، آستامال و کرنگان) تشکیل شده است. رخداد کانسار مس سونگون به عنوان یکی از بزرگ‌ترین ذخایر مس و مولیبدن پورفیری در ایران، توجه ویژه زمین‌شناسان و معدنکاران را بر این منطقه معطوف کرده است. مطالعات و یافته‌های یک دهه اخیر نشان داده است که در این منطقه افزون بر معدن سونگون، ذخایر دیگری مانند کانسارهای مس پورفیری مسجد داغی و هفت‌چشمه با عیار قابل توجه مولیبدن و تا حدی طلا و کانسارهای طلای میوه‌رود، شرف‌آباد-هیزه‌جان و همچنین کانه‌زایی مولیبدن در قره‌چیلر-قره‌دره کشف و معرفی شده است. در این نوشتار، انواع کانی‌سازی‌های مس و مولیبدن (پورفیری، رگه‌ای، استوک‌ورک و اسکارنی) و ارتباط آنها با ژئوشیمی، ترکیب شیمیایی، جایگاه زمین‌ساختی و پتروگرافی نفوذی‌های مرتبط با کانه‌زایی و دگرسانی آنها بحث می‌شود.

۲- روش پژوهش

این پژوهش بر اساس مطالعات و پیمایش‌های صحرایی، مطالعه مقاطع نازک و صیقلی (۴۰ عدد) و نمونه‌های آنالیز شده (۵۲ عدد) از توده‌های نفوذی توسط نگارندگان (به روش XRF و ICP-MS)، در سازمان انرژی اتمی، شرکت زراژما (Amdel، استراليا) و همچنین با استفاده از داده‌های آنالیز شده به روش ICP-MS در آزمایشگاه Amdel استراليا (حسن‌پور، ۱۳۸۹)، به روش ICP-MS در شرکت زراژما (مختاری، ۱۳۸۷؛ جدایی، ۱۳۸۹) و به روش ICP-MS در دانشگاه Huelva و XRF در دانشگاه Oviedo اسپانیا (Aghazadeh et al., 2011) و با تلفیق کلیه اطلاعات حاصل از آنها انجام پذیرفته است.

۳- زمین‌شناسی عمومی و پتروگرافی توده‌های نفوذی مرتبط با کانه‌زایی

بر اساس نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ سیه‌رود و ورزقان (Mehrpour 1992, 1997) مهم‌ترین واحدهای زمین‌شناسی محدوده مطالعاتی شامل باتولیت‌های قره‌داغ، شیورداغ، استوک‌های سونگون، هفت‌چشمه، واحدهای آهکی-شیلی کرتاسه و سنگ‌های آتشفشانی-رسوبی انوسن و ولکانیک‌های کواترن هستند (شکل ۱). در شمال باختری‌ترین بخش منطقه مورد مطالعه باتولیت قره‌داغ (اردوباد) در ۳۰ کیلومتری خاور سیه‌رود (مرز ایران با ارمنستان) واقع شده است. مناطق مطالعاتی دیگر به ترتیب استوک هفت‌چشمه، استوک سونگون و باتولیت شیورداغ در ۲۵ کیلومتری شمال باختری ورزقان (۷ کیلومتری باختر سونگون)، ۲۰ کیلومتری شمال باختری ورزقان و ۱۵ کیلومتری شمال و شمال باختری اهر واقع شده‌اند. مطالعات نشان می‌دهد که وسعت عمده توده‌های نفوذی این مناطق

۴- کانه‌زایی و دگرسانی

توده‌های نفوذی منطقه مورد مطالعه بخشی از نوار ولکانولوژیک ترشیری در شمال باختر ایران هستند. نفوذ این توده‌ها به همراه استوک‌های وابسته، دایک‌های آندزیتی، آپلیتی، پگماتیتی و سیالات گرمایی منتج از آنها، سبب ایجاد زون‌های دگرسانی گسترده‌ای در این مناطق شده و اغلب در کناره توده‌ها و یا در مرکز استوک‌ها با کانه‌زایی مس، مولیبدن، طلا، سرب، روی، آرسنیک، آنتیموان و جیوه همراه می‌باشند.

۴-۱. کانه‌زایی و دگرسانی باتولیت قره‌داغ

مطالعات حاضر نشان می‌دهد که کانه‌زایی مس، مولیبدن و طلا در مرکز باتولیت قره‌داغ (اردوباد)، در ۴ منطقه (قره‌چیلر- قره‌دره- انیق- پیربلاغ)، با سنگ میزبان با ترکیب بیوتیت گرانیت، کوارتز مونزونیت و گرانودیوریت در محدوده‌ای به گستره تقریبی ۴۰ کیلومتر مربع رخ داده است. در این زون، میانگین عیار مس و مولیبدن در نمونه‌های سالم به ترتیب ۸۳ و ۹ گرم در تن و در نمونه‌های به شدت دگرسان شده به ترتیب ۱/۲ و ۰/۱۹ درصد می‌رسد، اما در بعضی رگه‌های این منطقه عیار مس و مولیبدن حتی به ترتیب به بیشینه مقدار ۱۵ و ۳ درصد نیز می‌رسد. رخداد کانه‌زایی در زون‌های کانه‌زایی قره‌داغ به صورت زیر است.

– زون قره‌چیلر- انیق: مهم‌ترین زون کانه‌دار این منطقه، قره‌چیلر می‌باشد و ویژگی مهم آن، گسترش رگه‌ها و دایک‌های کانه‌دار است. در این زون رگه‌های کوارتز-مینرالیزه به صورت منقطع با ستبرای ۰/۲ تا ۲ متر و طول ۵۰ تا ۲۰۰ متر در داخل بیوتیت گرانیت دگرسان تشکیل شده‌اند. امتداد رگه‌ها N5W تا N30W و شیب آنها به طرف NE با زاویه ۵۰° تا ۸۵° می‌باشد (شکل ۳- الف). رگه‌ها در بخش مرکزی حاوی مولیبدن بوده (شکل ۳- ب) و به طرف شمال باختر میزان مس آنها افزایش می‌یابد. در منطقه انیق نیز یک استوک خرد شده و مینرالیزه وجود دارد که حاوی پیریت فراوان با مقادیر اندکی کالکوپیریت می‌باشد. در این استوک دگرسانی چیره از نوع سریستی بوده و به طور بخشی دگرسانی آرتزلیکی و پیریتی نیز در آن رخ داده است. بخش‌های بالایی و برشی رگه‌های منطقه انیق، دارای کانه‌زایی طلاست، و حتی در بعضی از آنها میانگین عنصر طلا تا ۶ ppm هم می‌رسد (مختاری، ۱۳۸۷؛ مختاری و همکاران، ۱۳۹۲). اما در منطقه قره‌چیلر، میزان مولیبدن زیاده‌تر بوده و در بعضی رگه‌های آن میزان این عنصر بالغ بر ۳ درصد است (سهرابی، ۱۳۸۲؛ رضایی‌ا قدم و سهرابی، ۱۳۸۹). Zakeri et al. (2011) نیز مطالعاتی در خصوص کانه‌زایی طلا، مس و مولیبدن در این زون انجام داده‌اند. بر اساس مطالعات نامبرده کانه‌زایی در این منطقه مرتبط با توده‌های نفوذی از نوع I، کالک آلکالن با پتاسیم متوسط تا بالا و با حالت اکسیدان بالا می‌باشد که در نتیجه فرورانش در کمان‌های قاره‌ای رخ داده است.

– زون قره‌دره- پیربلاغ: زون مینرالیزه قره‌دره در فاصله دو کیلومتری شمال باختری منطقه قره‌چیلر واقع شده است. در این منطقه، در داخل توده مونزوگرانیتی رگه‌های کوارتز-ستبر به ستبرای ۰/۵ تا ۲ متر، به طول حدود ۴۰۰ متر و به صورت منقطع تشکیل شده‌اند. ویژگی‌های هندسی، نوع کانه‌زایی و دگرسانی آنها مشابه توده قره‌چیلر است. در اطراف رگه‌ها در هر دو منطقه، زون‌های دگرسانی به عرض ۱ تا ۱۰ متر تشکیل شده و در مناطق سطحی آنها کربنات‌های مس، اکسیدها و هیدرواکسیدهای آهن دیده می‌شوند. در این مناطق رگه‌های نازک با ستبرای ۲۰ سانتی‌متر، با امتداد N5E تا N20E و N-S تشکیل شده‌اند که گاهی به صورت متقاطع با همدیگر یا با رگه‌های ستبرتر دیده می‌شوند. طول این رگه‌ها از ۵ تا ۵۰ متر متغیر است. این سیستم رگه‌ای حاوی کانه‌زایی مولیبدنیت با مقدار اندکی کالکوپیریت و پیریت بوده و در زون اکسیدان در همراهی با فری مولیبدنیت، هماتیت و لیمونیت دیده می‌شوند. تیغه‌های مولیبدنیت با اندازه ۱ تا ۱۰ میلی‌متر در داخل رگه‌های کوارتز مشاهده می‌شوند (شکل ۳- پ، ت). امتداد زون مینرالیزه قره‌دره به طرف NW به زون پیربلاغ ختم شده و دارای میزان مس زیاد و مولیبدن بسیار اندک می‌باشد.

تجزیه به اپیدوت، اکتینولیت، کلریت و اکسیدهای آهن (شکل ۲- پ)، آمفیبول از نوع هورنبلند، کانی‌های کدر از نوع اکسیدی و سولفیدی هستند. از ویژگی این توده، وجود رگه‌های اکسیدی (مگنتیت، سولفیدی (پیریت و کالکوپیریت)، کربناتی (کلسیت) و کوارتزی است. توده گرانودیوریت با رنگ روشن و بافت پورفیری به شکل استوک کوچک و همراه با دایک‌های متعدد ظاهر شده و جوان‌تر از همه توده‌های نفوذی یاد شده می‌باشد. این توده حالت برشی دارد و دگرسانی‌های فلیک و پتاسیک را تحمل نموده و توسط رگه و رگه‌های کوارتز هم قطع شده است (شکل ۲- ث). همچنین دایک‌های متعدد آندزیتی، میکرودیوریتی و کوارتز دیوریتی با امتداد NW-SE همه توده‌های نفوذی بالا را قطع نموده‌اند و به عنوان فاز نهایی ماگماتیسیم کانسار هفت چشمه به شمار می‌روند.

۳-۳. استوک سونگون: پورفیری سونگون شامل سه فاز نفوذی (۱) دیوریت-گرانودیوریت، (۲) مونزونیت-کوارتز مونزونیت، (۳) دایک‌های آندزیتی و مونزونیتی است. پژوهشگران مختلفی (بهار فیروزی و همکاران، ۱۳۷۸؛ Calagari et al., 2001; Mehrtapou, 1993, 1997; Calagari, 2004; Hezarkhani, 2006) بر روی توده‌های نفوذی سونگون و کانه‌زایی مرتبط با آن مطالعاتی را انجام داده‌اند. توده‌های نفوذی کانسار سونگون به صورت استوک مانند بوده و انواع توده‌های دیوریتی و گرانودیوریتی، میزبان اصلی کانه‌زایی در این کانسار هستند. همه توده‌های نفوذی توسط انواع دایک‌های کانه‌دار و غیرکانه‌دار قطع شده‌اند. دایک‌های کانه‌دار در ارتباط ژنتیکی با نفوذی‌های دیوریتی-گرانودیوریتی بوده و نسبت به نوع غیرکانه‌دار، رنگ روشن‌تری داشته و شدیداً دگرسان شده هستند. مهم‌ترین کانی‌ها در این دایک‌ها شامل پلاژیوکلاز، پتاسیم فلدسپار، کوارتز، بیوتیت و هورنبلند است. توده مونزونیت-کوارتز مونزونیتی به رنگ خاکستری روشن، شامل درشت‌بلورهای پتاسیم فلدسپار، پلاژیوکلاز، بیوتیت و هورنبلند در یک زمینه ریزدانه هستند (شکل ۲- ج). توده‌های گرانودیوریتی عمدتاً به داخل توده مونزونیتی نفوذ کرده و نسبت به آنها پلاژیوکلاز و هورنبلند بیشتر و پتاسیم فلدسپار، کوارتز و بیوتیت کمتری دارند.

۳-۴. شیورداغ: ترکیب عمده توده نفوذی شیورداغ در بخش خاوری، سینیت و سینوگرانیت (Aghazadeh et al., 2011) و گابروی، در مرکز و باختر شامل دیوریت، مونزونیت، مونودیوریت، گرانودیوریت و گرانیت می‌باشد. ترکیب آن در بخش باختری (حوالی اسکارن‌های انجرد، زندآباد و مزرعه) گرانودیوریتی بوده که با رنگ خاکستری روشن و پتاسیم فلدسپار صورتی رنگ به اندازه ۲ تا ۲۰ میلی‌متر و بعضاً با انکلاوهای تیره‌رنگ به اندازه ۱ تا ۱۰ سانتی‌متر قابل شناسایی است. کانی‌های موجود در توده گرانودیوریتی شامل پلاژیوکلاز، کوارتز، هورنبلند، بیوتیت، مگنتیت و اسفن می‌باشد. خصوصاً حضور اسفن‌های رومبوند در این توده قابل توجه است. بافت توده نفوذی مرتبط با کانه‌زایی در شیورداغ به صورت میکروگرانولار، گرانولار متوسط تا درشت‌بلور و پورفیری می‌باشد (شکل‌های ۲- ح، خ). حضور پلاژیوکلازهای با ترکیب الیگوکلاز (ملانی، ۱۳۹۰) در این توده قابل توجه بوده و برخی از آنها دارای منطقه‌بندی هستند. برخی از پلاژیوکلازها در حال تبدیل به کائولن بوده و در امتداد شکستگی‌ها و سطوح رخ آنها اپیدوت، کلسیت و کلریت تشکیل شده است. کانی پتاسیم فلدسپار بیشتر از نوع ارتوکلاز و به ندرت میکروکلین می‌باشد. در این توده گاهی در نتیجه هم‌رشدی پتاسیم فلدسپار و آلپیت بافت پرتیتی تشکیل شده است. انکلاوهای موجود در این توده شامل کانی‌های فرومنیزین (آمفیبول، بیوتیت یا پروکسن) با مقادیر اندکی پلاژیوکلاز می‌باشد. توده شیورداغ توسط دایک‌های بازالتی و آندزیتی جوان‌تر (کواترنری) قطع شده است. در برخی بخش‌ها ولکانیک‌های جوان‌تر توده شیورداغ را پوشانیده است که نمونه بارز آن را می‌توان در حد فاصل اسکارن‌های انجرد و زندآباد و در حوالی معدن مزرعه مشاهده کرد.

سونگون پورفیری، شامل پتاسیک، پروپلیتیک، فیلیک، سیلیسی و آرژیلیک می‌باشد (Mehrpour, 1993; Calagari, 2004; Hezarkhani, 2006). دگرسانی پتاسیک به‌صورت فراگیر در مرکز زون کانه‌دار و اطراف رگه‌ها گسترش یافته و با فراوانی پتاسیم‌فلدسپار و بیوتیت‌های ثانویه از سایر زون‌ها قابل تفکیک است. زون پتاسیک به سمت بالا توسط دگرسانی فیلیک احاطه شده است (شکل ۳-ح). در این زون دو نوع بیوتیت قابل تفکیک هست: ۱- بیوتیت‌های شکل‌دار اولیه غنی از آهن به رنگ قهوه‌ای ۲- بیوتیت‌های گرمابی به رنگ قهوه‌ای کم‌رنگ مایل به سبز (شکل ۳-خ). کانی‌های بیوتیت گرمابی فضای بین دانه‌های کوارتز و پتاسیم‌فلدسپار را پر نموده‌اند و اغلب جایگزین هورنبلند و فنوکریست‌های اولیه بیوتیت شده‌اند. کانه‌زایی مولیبدنیت اغلب در زون هیوژن (بخش‌های ژرف استوک کانه‌دار) مرتبط با دگرسانی پتاسیک در رگه و رگچه‌های کوارتزی و گاهی در متن سنگ میزبان همراه با مقدار اندکی کالکوپریت، پتاسیم‌فلدسپار و سریست رخ داده است. رگچه‌های کوارتزی کانسار سونگون در سه مرحله پیشین، میانی و پسین تشکیل شده است (Calagari et al., 2001; Calagari, 2004) و شامل کوارتز + مولیبدنیت + کالکوپریت + پیریت + سریست + پتاسیم‌فلدسپار ± دولومیت، کوارتز + کالکوپریت + پیریت ± مولیبدنیت، کوارتز + کالکوپریت + پیریت + کلسیت + انیدریت ± مولیبدنیت می‌باشد. در رگچه‌های نوع اول مولیبدنیت به عنوان مهم‌ترین کانه سولفیدی بوده و بیشتر در حاشیه رگچه‌ها توسعه یافته است. پتاسیم‌فلدسپار، انیدریت و به مقدار اندکی کالکوپریت، بوریت و پیریت در مرکز رگچه‌ها تشکیل شده‌اند. پیریت و کالکوپریت به‌طور بخشی جایگزین مولیبدنیت شده است. این رگچه‌های سولفیدی عمدتاً به وسیله هاله دگرسانی پتاسیک، گاهی فیلیک و پروپلیتیک احاطه شده‌اند. بر اساس مطالعات شرکت ملی صنایع مس ایران، عیار متوسط مولیبدن در زون فیلیک- پتاسیک ppm ۱۵۰ و در زون پتاسیک ppm ۲۰۰ و متوسط هر دو زون ppm ۱۶۰ بوده که بر این اساس میزان ذخیره آن، حدود ۸۸۸ تن تعیین شده است.

۴-۳. دگرسانی و کانه‌زایی هفت‌چشمه

دگرسانی‌های شاخص کانسارهای مس- مولیبدن پورفیری به شرح زیر در کانسار هفت‌چشمه توسعه یافته است:

- **دگرسانی پتاسیک:** گسترش کانی‌های ارتوز، بیوتیت و مگنتیت به صورت افشان، جانشینی، رگچه‌ای و پرکننده شکستگی‌ها از ویژگی‌های زون پتاسیک در هفت‌چشمه می‌باشد (شکل ۴-الف). بخش عمده کانه‌زایی مس و مولیبدن مرتبط با این نوع دگرسانی است. در برخی موارد، زون پتاسیک توسط دگرسانی‌های تأخیری از نوع فیلیک و گاهی آرژیلیک پوشیده شده است. بر اساس حفاری‌های انجام گرفته توسط شرکت ملی صنایع مس ایران، این دگرسانی تا ژرفای ۷۰۰ متری در توده‌های نفوذی گابرویی و گرانودیوریتی انجام شده است (حسن‌پور، ۱۳۸۹). در کانسار هفت‌چشمه نیز مانند منطقه قره‌چیلر، سنگ درونگیر استوک‌های پورفیری کانه‌دار از نوع نفوذی بوده (گابرو و دیوریت) و با دگرسانی پتاسیک و پروپلیتیک و اغلب با کانه‌زایی هیوژن در زون پتاسیک همراه می‌باشند (حسن‌پور، ۱۳۸۹؛ رضایی‌اقدم و سهرابی، ۱۳۸۹).

- **دگرسانی پروپلیتیک:** این دگرسانی بیشتر در اطراف زون پتاسیک و حاشیه توده گابرویی گسترش یافته است (حسن‌پور، ۱۳۸۹). در زون پروپلیتیک این محدوده کانی پلاژیوکلاز به وسیله کانی‌های کلسیت، کانی هورنبلند توسط اپیدوت و کانی پیروکسن با کلریت و کلسیت جانشین شده‌اند.

- **دگرسانی فیلیک:** این دگرسانی به صورت تأخیری جانشین زون پتاسیک شده و عمدتاً در توده گرانودیوریتی گسترش دارد (حسن‌پور، ۱۳۸۹). تبدیل و جانشینی کانی‌های پتاسیم‌فلدسپار و پلاژیوکلاز توسط سریست و کوارتز (شکل ۴-ب) و گسترش رگچه‌های پیریتی از ویژگی‌های این زون است. در کانسار هفت‌چشمه کانه‌زایی در تمام توده‌های نفوذی گابرویی، دیوریتی، کوارتز مونزونیتی و گرانودیوریتی رخ داده

در این زون‌های میرالیزه به‌ویژه در منطقه قره‌چیلر، در برخی از دایک‌های میرالیزه (ریولیتی و آندزیتی) و سنگ‌های میزبان دگرسان شده در اطراف رگه‌های ستر، سیستم رگچه‌ای به صورت شبکه‌ای (Stockwork) و نواری (Banded) توسعه یافته است. این رگچه‌ها عمدتاً از کوارتز، کوارتز + مولیبدنیت + کالکوپریت + پیریت، کوارتز + مولیبدنیت، کوارتز + پتاسیم‌فلدسپار، کوارتز + پیریت، کوارتز + کالکوپریت + پیریت، کالکوپریت + پیریت و مگنتیت تشکیل یافته‌اند. کانه‌زایی در این زون‌ها، علاوه بر سیستم رگچه‌ای، به فرم افشان در متن سنگ میزبان دگرسان شده (گرانودیوریت و کوارتز مونزونیت) دیده می‌شود. در محدوده زون‌های کانه‌دار به‌ویژه قره‌چیلر مهم‌ترین دگرسانی‌ها به شرح زیر می‌باشند.

• **سیلیسی‌شدن (سیلیسیفیکاسیون):** در زون قره‌چیلر دگرسانی سیلیسی به صورت رگه و رگچه‌های کوارتزی منطبق بر زون پتاسیک توسعه یافته است. همه رگه‌های کوارتزی واقع در زون پتاسیک میرالیزه هستند. مشابه این حالت در بیشتر کانسارهای مولیبدن نوع رگه‌ای و افشان مرتبط با گرانت‌ها توسط پژوهشگران مختلف از جمله (Seedorff et al., 2005) و Sillitoe (2010) گزارش شده است. مشاهدات صحرایی و مطالعات میکروسکوپی نشان می‌دهد که رگه و رگچه‌های سیلیسی این منطقه به دو طریق شکل گرفته‌اند: ۱- بخشی از آنها طی فرایند دگرسانی از تجزیه پلاژیوکلازها حاصل شده‌اند. این نوع سیلیس‌ها بیشتر به فرم رگچه‌های منقطع در متن سنگ‌های دگرسان و یا به حالت جانشینی با پلاژیوکلازها مشاهده می‌شوند. ۲- حجم زیادی از سیلیس‌ها در رگه‌های بزرگ و رگچه‌ها (زون استوک و رکی) متمرکز شده‌اند و بیشتر از نوع کوارتز نهان‌بلورین (کریستوکریستالین) و گاهی بلورین هستند. این نوع سیلیس‌ها اغلب از سیالات گرمابی حاوی SiO_2 مایع متبلور می‌شوند.

• **دگرسانی پتاسیک:** این نوع دگرسانی منطبق بر زون کانه‌دار قره‌چیلر و در اطراف رگه‌های کوارتزی رخ داده است. در بیشتر کانسارهای مولیبدن رگه‌ای، در اطراف رگه‌ها زون دگرسانی پتاسیک تشکیل می‌شود و در صورت نزدیک بودن رگه‌ها، هاله دگرسانی آنها با همدیگر تداخل نموده و یک زون دگرسانی گسترده پتاسیک را تشکیل می‌دهند. مشابه این حالت در منطقه قره‌چیلر مشاهده می‌شود (تشکیل ۴ رگه کانه‌دار سیلیسی در محدوده‌ای به عرض ۲۵۰ متر). در منطقه قره‌چیلر، در مرحله اول دگرسانی پتاسیک با شدت کم رخ داده که در نتیجه آن کانی‌های هورنبلند به بیوتیت تبدیل شده‌اند. در مطالعه نمونه‌ها دو نوع بیوتیت دیده شده است: ۱) کانی‌های بیوتیت شکل‌دار به رنگ قهوه‌ای که از نوع ماگمایی بوده و در برخی موارد به وسیله کلریت و اکسیدهای آهن جانشین شده‌اند. ۲) بیوتیت‌های نوشکل (نئوفرمه) به رنگ قهوه‌ای مایل به سبز که فضاهای خالی را پر کرده و به صورت رگچه‌های منقطع دیده می‌شوند. با افزایش شدت دگرسانی در مرحله بعدی همراه با استمرار فعالیت گرمابی، کانی‌های پلاژیوکلاز اکثراً به سریست تبدیل شده و ارتوز ثانویه فضاهای خالی را پر کرده است و به صورت درهم‌رشدی (Over growth) در داخل و روی فلدسپارهای سالم اولیه مشاهده می‌شود. در این مرحله، بیوتیت‌های نوشکل به صورت رگچه‌های منقطع نیز دیده می‌شوند (شکل ۳-ث). در اطراف بیشتر رگه‌های کوارتز- مولیبدنیت، هاله پتاسیم‌فلدسپار و سریست توسعه یافته است. مشابه این حالت در کانسار مولیبدن Endako نیز مشاهده شده است (Selby et al., 2000). بیشتر رگه‌های میرالیزه قره‌چیلر در ارتباط با این زون دگرسانی هستند و دارای کانه‌های مولیبدنیت (شکل ۳-ج) و کالکوپریت می‌باشند. همچنین در این زون، به ویژه در بخش‌های پایینی (کف آبراهه‌ها) رگچه‌های مگنتیت تشکیل شده است.

• **دگرسانی پروپلیتیک:** این زون دگرسانی در فواصل دورتر از منطقه میرالیزه قره‌چیلر با ظهور کانی‌های اپیدوت + کلریت در متن سنگ و به صورت رگچه‌ای مشاهده می‌شود. از مرکز فعالیت گرمابی (زون پتاسیک قره‌چیلر) به سمت زون دگرسانی پروپلیتیک از میزان کانه‌زایی به شدت کاسته می‌شود.

۴-۲. **دگرسانی و کانه‌زایی در کانسار سونگون:** مهم‌ترین زون‌های دگرسانی

دگرگونی مجاورتی (هورنفلسی شدن) به عرض متغیر از ۵۰ متر تا ۵۰۰ متر تشکیل شده است. در محل همبری آهک‌های کرتاسه بالایی با توده شیورداغ، زون‌های اسکارنی (مرزود، مزرعه، گودال، جوان‌شیخ، زندآباد و انجرد) تشکیل شده‌اند. اسکارن‌های مزرعه، مرزود و گودال دارای کانه‌زایی آهن و مس با مقادیر فرعی طلا، اسکارن‌های زندآباد و انجرد با کانه‌زایی مس و آهن همراه با محصول جانبی مولیبدن می‌باشند (سهرابی و رضایی اقدم، ۱۳۸۸). در اسکارن‌های انجرد و زندآباد کانه‌زایی مولیبدن در ارتباط با زون گارنتیت و در زون اندواسکارن می‌باشد. در این کانسار بیشترین تمرکز مولیبدن در زون اندواسکارن در داخل رگچه‌های گارنت و به صورت پراکنده در متن توده نفوذی (گرانودیوریت) صورت گرفته است. با دور شدن از توده نفوذی و زون اندواسکارن به طرف زون اگرواسکارن، به شدت از میزان کانه‌زایی مولیبدن کاسته می‌شود. اندازه کانه‌های مولیبدنیت تشکیل شده در داخل کانی‌های گارنت، بزرگ‌تر از انواع پراکنده در متن توده گرانودیوریتی (اندواسکارن) است. افزایش عیار مولیبدن بطرف توده نفوذی و زون اندواسکارن احتمالاً به دلیل تأمین عنصر مولیبدن از توده نفوذی و کاهش یافتن اندازه آنها، به دلیل توسعه کم شکستگی‌ها و افزایش فشار می‌باشد. کانه مولیبدنیت در داخل گارنت به صورت ورقه‌هایی با اندازه ۱ تا ۱۰ میلی‌متر در امتداد شکستگی‌ها و سطوح زونه‌بندی رخ داده است، ولی در متن توده گرانودیوریتی اندازه آنها عموماً کمتر از ۴ میلی‌متر می‌باشد. گاهی مولیبدنیت‌های تشکیل شده در گارنت‌ها در حال تبدیل شدن به فری‌مولیبدات هستند (اشکال ۴-ث، ج، ح، خ). تشکیل مولیبدنیت در متن توده نفوذی، در سطوح زون‌بندی و شکستگی گارنت‌ها در بخش اندواسکارنی و به مقدار بسیار جزئی در زون اگرواسکارن نشان‌دهنده رخداد آنها قبل، همزمان و پس از تشکیل گارنت‌ها بوده و همگام با مراحل اسکارن پیشرونده تا پسرونده صورت گرفته است. به نظر می‌رسد بیشتر مولیبدنیت‌ها در مرحله پایانی اسکارن پیشرونده تا مراحل اولیه اسکارن پسرونده اغلب در زون اندواسکارن و به مقدار جزئی در زون اگرواسکارن تشکیل شده‌اند. میزان مولیبدن در زون اندواسکارن (رگچه‌های گارنت و توده نفوذی) از ۲۰۰-۵۰ ppm در تغییر است. عرض زون کانه‌دار در رخنمون سطحی ۰/۳ تا ۳ متر می‌باشد.

در استوک‌های هفت‌چشمه، سونگون و باتولیت‌های قره‌داغ و شیورداغ، نوع و شدت دگرسانی‌های مرتبط با کانه‌زایی مس و مولیبدن متفاوت است. سنگ‌های آتشفشانی به دلیل واکنش‌پذیری و تخلخل بالا نسبت به توده‌های پلوتونیک مستعد دگرسانی بوده و دگرسانی‌های معمول گرمایی (آرژیلیک، سریستیک، پتاسیک و پروپیلیتیک) در آنها به خوبی توسعه می‌یابد. این نوع دگرسانی‌ها در کانسار سونگون و تا حدودی در زون دگرسانی دره‌علی‌جواد (شیورداغ) در استوک‌های نفوذی کانه‌دار (سنگ میزبان) و در سنگ‌های آتشفشانی مجاور (سنگ درونگیر) توسعه یافته است. در سنگ‌های پلوتونیک به دلیل واکنش‌پذیری کم، بیشتر دگرسانی‌های نوع پتاسیک، سیلیسی و پروپیلیتیک رخ می‌دهد. دگرسانی‌های نوع اخیر در زون‌های کانه‌دار مناطق قره‌چیلر-قره‌دره و در کانسار هفت‌چشمه به خوبی توسعه یافته است. دگرسانی موجود در اسکارن‌های مس-مولیبدن شیورداغ (انجرد-زندآباد) متفاوت از انواع دیگر بوده و ناشی از رخداد دگرسانی متاسوماتیک در زون‌های اندو و اگرواسکارن می‌باشد.

۵- طبقه‌بندی گرانیتویدهای منطقه مورد مطالعه و جایگاه زمین‌ساختی آنها

نوع و ابعاد کانه‌زایی و دگرسانی در ارتباط تنگاتنگ با نوع، ترکیب، جایگاه زمین‌ساختی و سری ماگمایی توده‌های نفوذی همراه است (تقریباً اغلب کانسارهای مس و مولیبدن پورفیری در ارتباط با توده‌های نفوذی حدواسط تا اسیدی تشکیل شده‌اند). بنابراین تعیین ترکیب توده‌ها و جایگاه زمین‌ساختی آنها برای مشخص

است اما مولد اصلی کانه‌زایی توده‌های پورفیری کوارتز مونزونیتی و گرانودیوریتی می‌باشند. کوارتز مونزونیت و گرانودیوریت به داخل واحدهای گابرویی و دیوریتی نفوذ کرده است که ضمن دگرسانی آنها سبب کانه‌زایی در سنگ درونگیر (گابرو و دیوریت) و در خود توده‌های کوارتز مونزونیتی و گرانودیوریتی (سنگ میزبان) شده است (حسن پور، ۱۳۸۹). مهم‌ترین کانه‌های سولفیدی در این کانسار مولیبدنیت، کالکوپریت و بورنیت بوده (شکل ۴-پ، ت) و اغلب در زون پتاسیک به صورت افشان و مرتبط با رگه-رگچه‌های سیلیسی (استوک ورک) رخ داده است. در اثر فرایندهای سوپرژن، کالکوپریت به سولفیدهای ثانویه (کولویت و کالکوسیت) تبدیل شده است. کانه‌زایی اصلی این محدوده از نوع هیپوژن بوده و عیار متوسط مس ۰/۴ درصد و مولیبدن ۳۰۰ گرم در تن می‌باشد (حسن پور و همکاران، ۱۳۸۹). کانسار هفت‌چشمه از برخی جهات شباهت‌هایی اساسی با منطقه قره‌چیلر-قره‌دره دارد. سنگ میزبان و درونگیر آنها از نوع توده نفوذی می‌باشد. در هر دو محدوده گسترش زون‌های پتاسیک و سیلیسی شدن قابل توجه بوده و افزون بر ژرفا، در سطح نیز رخنمون دارند. کانه‌زایی بیشتر در زون هیپوژن متمرکز شده است و تقریباً زون سوپرژن به مقدار بسیار ناچیز می‌باشد. همچنین مقدار مولیبدن در این مناطق در مقایسه با کانسار سونگون بالاست. در کانسار سونگون سنگ میزبان، استوک پورفیری و سنگ درونگیر واحدهای آتشفشانی ائوسن می‌باشد، اما به نظر حسن پور (۱۳۸۹) سنگ درونگیر ولکانیک‌های الیگوسن است. کانه‌زایی در هر دوزون فلیک و پتاسیک در سنگ‌های میزبان و درونگیر گسترش یافته است، ضمن اینکه علاوه بر کانه‌زایی هیپوژن، بخشی از کانه‌زایی به صورت سوپرژن تشکیل شده است.

۴-۴. دگرسانی و کانه‌زایی باتولیت شیورداغ: کانه‌زایی مولیبدن شیورداغ در بخش اسکارنی (انجرد و زندآباد) و زون دگرسانی دره‌علی‌جواد به عنوان محصول جانبی همراه با مس رخ داده است. زون دگرسانی علی‌جواد در همبری توده نفوذی شیورداغ با ولکانیک‌های حدواسط و اسیدی پورفیری تا مگاپورفیری، در نتیجه نفوذ استوک کوارتز مونزونیتی در حد فاصل بین اسکارن‌های مس-مولیبدن انجرد و زندآباد (بخش جنوب‌باختری باتولیت شیورداغ) تشکیل شده است. زون دگرسانی دره‌علی‌جواد در گستره‌ای به ابعاد ۲×۱ کیلومتر مربع در جهت تقریباً خاوری-باختری و به موازات توده شیورداغ رخ داده که از پایین به بالا شامل زون‌های دگرسانی پیریتی، آرژیلیک و کلاهدک سیلیسی می‌باشد. کانه‌زایی مس به دو صورت پراکنده در متن سنگ‌های آتشفشانی و کوارتز مونزونیتی به شدت دگرسان شده و خرد شده همراه با رگچه‌های کوارتزی رخ داده است (سهرابی و رضایی اقدم، ۱۳۸۸؛ سهرابی و همکاران، ۱۳۹۲). مهم‌ترین کانه سولفیدی در این منطقه کالکوپریت می‌باشد که در زون اکسیدان به کربنات‌های مس (مالاکیت و آزوریت) تبدیل شده است. گاهی مقدار کربنات‌های مس تا حدی افزایش یافته است که می‌توان این زون را کلاهدک سبز (Green Cap) نامید. این زون توسط هاله‌ای از پیریت احاطه شده است (سهرابی و رضایی اقدم، ۱۳۸۸). کانه‌زایی مولیبدن بیشتر در ارتباط با رگچه‌های کوارتزی بوده و میزان آن بین ۵۰ تا ۲۴۳۰ گرم در تن و میزان مس بین ۰/۵ تا ۳ درصد و طلا بین ۰/۱ تا ۲/۵ گرم در تن در تغییر است (مهندسین مشاور فرازمین‌ساخت، ۱۳۸۸). هر چند که بخش کانه‌دار و پرعیار منطقه علی‌جواد به خصوص مس و طلا منطبق با زون فلیکی (پیریت، کوارتز و سریست) می‌باشد، اما به نظر می‌رسد به سمت ژرفای پایین‌تر، با توسعه زون پتاسیک، میزان مولیبدن آن افزایش خواهد یافت. چنانچه طبق مطالعات صورت گرفته در سایر زون‌های کانه‌دار نوار قره‌داغ-شیورداغ از جمله قره‌چیلر-قره‌دره (سهرابی، ۱۳۸۲؛ رضایی اقدم و سهرابی، ۱۳۸۹)، هفت‌چشمه (حسن پور، ۱۳۸۹) و سونگون (Calagari et al., 2001; Calagari, 2004) اغلب بیشترین تمرکز مولیبدن در ارتباط با رگه و رگچه‌های سیلیسی و بخشی از آنها در متن سنگ میزبان در زون پتاسیک می‌باشد.

در محل همبری توده شیورداغ با واحدهای رسوبی (شیل و سیلت‌استون) یک زون

نمودن نوع کانه‌زایی اهمیت فراوانی دارد. در رده‌بندی توده‌های نفوذی منطقه، تعیین سری ماگمایی، شاخص اشباع از آلومین و تمایز محیط‌های زمین‌ساختی، از عناصر اصلی و کمیاب استفاده شده است. از آنجایی که بیشتر توده‌های نفوذی منطقه دچار دگرسانی و هوازدگی شده‌اند، از این رو، بیشتر عناصر اصلی مانند Fe, Ca, K, Na, MgO/FeO, Na₂O/K₂O, A/CNK و شیورداغ با گرانیتوئیدهای نوع I و حواشی فعال قاره‌ای و محیط‌های کششی پس از تصادم همخوانی دارد. تغییرات نسبت‌های Ba/K, Rb/Ba, Zr/Ti و Zr/Hf در این نفوذی‌ها، به عنوان معیاری برای تفریق در نظر گرفته شده است (پورمعافی، ۱۳۸۷). در محدوده مورد مطالعه کانه‌زایی اغلب در ارتباط با توده‌های گرانودیوریتی و کوارتزموزنوئیتی می‌باشد، اما در اطراف آنها ترم‌های بازیک‌تر (گابرو و دیوریت) نیز وجود دارد. وجود ترم‌های سنگی بازیک، حدواسط و اسیدی در هر یک از مناطق مورد مطالعه، بیانگر فرایند تبلور بخشی می‌باشد.

۴-۲. عناصر فرعی

از آنجایی که مطالعه رفتار عناصر فرعی Sr, Ba, Rb برای تعیین ویژگی‌های سنگ‌های پلو تونیک مهم است، از این رو ویژگی‌های ژئوشیمیایی آنها مورد بررسی قرار گرفته است. میزان Rb در سنگ‌های منطقه بین ۵/۶ تا ۱۳۷ گرم در تن در تغییر است. کمترین مقدار Rb در کانسار هفت چشمه و بیشترین مقدار آن در توده شیورداغ تعیین شده است. Rb با عناصر K و Ba همبستگی مثبتی نشان می‌دهد. با افزایش روند تفریق، میزان عنصر Rb افزایش یافته است که گویای افزایش میزان پتاسیم در سنگ‌های تفریق یافته با بیوتیت و پتاسیم فلدسپار بالا می‌باشد. میزان عنصر Ba در سنگ‌های منطقه بین ۳۵۰ تا ۸۷۱ گرم در تن در تغییر است. دامنه وسیع Ba نشانگر تغییرات زیاد کانی‌های پتاسیم‌دار (پتاسیم فلدسپار و بیوتیت) در توده‌های نفوذی است، زیرا Ba به دلیل تشابه شعاع یونی جانشین عنصر K شده و مقدار آن در توده‌های با مقادیر بالای کانی‌های پتاسیم فلدسپار و بیوتیت، افزایش یافته است. بیشترین مقدار Ba متعلق به کانسار سونگون و توده قره‌داغ (اردوباد) می‌باشد. عنصر Ba با عناصر Si و K همبستگی مثبت نشان می‌دهد و مقدار آن با تداوم روند تفریق، افزایش یافته است. میزان عنصر Sr در سنگ‌های منطقه بین ۲۶/۵ تا ۱۴۶۰ گرم در تن در تغییر است و از توده قره‌داغ به سمت توده شیورداغ میزان آن افزایش می‌یابد. عنصر مولیبدن با K, Rb و Ba همبستگی مثبت و با عنصر Sr همبستگی منفی نشان می‌دهد. به این دلیل کانه‌زایی Cu-Mo در این ناحیه بیشتر در ارتباط با توده‌های حدواسط و اسیدی تفریق یافته (کوارتزموزنوئیت و گرانودیوریت) صورت گرفته است. بررسی‌ها نشان می‌دهد که مقدار عناصر Zn, Co و V با افزایش خاصیت اسیدیته نفوذی‌ها کاهش می‌یابد. بیشترین مقدار عناصر Zn و V مربوط به واحد گابرویی و دیوریتی کانسار هفت چشمه می‌باشد. میزان عناصر U, Zr, Th, Ga, Ce, W, Y, La, Ta, Nb, Cu, Nd, Mo و Pb در توده‌های اسیدی و حدواسط بیوتیت‌دار (قره‌چیلر و هفت چشمه) افزایش می‌یابد و با Mo همبستگی مثبتی را نشان می‌دهند.

با مطالعه رفتار عناصر ناسازگار غیرمتحرک (HFSE) و عناصر ناسازگار متحرک (LESE) یا عناصر لیتوفیل (LILE) نظیر و عناصر سازگار در نفوذی‌های مرتبط با کانه‌زایی (باتولیت‌های قره‌داغ، شیورداغ و استوک‌های هفت چشمه و سونگون) مشخص شد که میزان عناصر لیتوفیل در توده‌های اسیدی افزایش می‌یابد. افزایش عناصر لیتوفیل نشان‌دهنده تفریق ماگمایی و تمرکز آنها در بخش‌های تفریق یافته و اسیدی می‌باشد. بالا بودن میزان عناصر LFSE همراه عناصر Ce, P, Th و Sm می‌تواند نشانگر آزاد شدن آنها در نتیجه آب‌زدایی پوسته فرورونده باشد (Rollinson, 1993). برای مطالعه نحوه توزیع و پراکندگی عناصر کمیاب و جزئی از نمودارهای عنکبوتی (Spider diagrams) ارائه شده توسط Pearce et al. (1984) استفاده گردید (شکل ۵-خ). این نمودارها نسبت به گرانیتوئیدهای پشته اقیانوسی (ORG) بهنجار شده‌اند. گرانیتوئیدهای مربوط به کمان آتشفشانی (Chile)، گرانیت‌های همزمان با برخورد (Tibet) و پس از برخورد (Oman) با نفوذی‌های منطقه مقایسه شده است. بر اساس نمودار عنکبوتی ارائه شده، در تمامی توده‌های نفوذی نوار قره‌داغ-شیورداغ عناصر K, Rb, Ba و Th نسبت به ORG غنی‌شدگی

نمودن نوع کانه‌زایی اهمیت فراوانی دارد. در رده‌بندی توده‌های نفوذی منطقه، تعیین سری ماگمایی، شاخص اشباع از آلومین و تمایز محیط‌های زمین‌ساختی، از عناصر اصلی و کمیاب استفاده شده است. از آنجایی که بیشتر توده‌های نفوذی منطقه دچار دگرسانی و هوازدگی شده‌اند، از این رو، بیشتر عناصر اصلی مانند Fe, Ca, K, Na, MgO/FeO, Na₂O/K₂O, A/CNK و شیورداغ با گرانیتوئیدهای نوع I و حواشی فعال قاره‌ای و محیط‌های کششی پس از تصادم همخوانی دارد. تغییرات نسبت‌های Ba/K, Rb/Ba, Zr/Ti و Zr/Hf در این نفوذی‌ها، به عنوان معیاری برای تفریق در نظر گرفته شده است (پورمعافی، ۱۳۸۷). در محدوده مورد مطالعه کانه‌زایی اغلب در ارتباط با توده‌های گرانودیوریتی و کوارتزموزنوئیتی می‌باشد، اما در اطراف آنها ترم‌های بازیک‌تر (گابرو و دیوریت) نیز وجود دارد. وجود ترم‌های سنگی بازیک، حدواسط و اسیدی در هر یک از مناطق مورد مطالعه، بیانگر فرایند تبلور بخشی می‌باشد.

توسط Winchester & Floyd (1977) که به وسیله Pearce (1996) برای سنگ‌های نفوذی تصحیح شده (شکل ۵-الف) و نمودار Cox et al. (1979) برای نامگذاری سنگ‌های آذرین درونی و بر اساس روش TAS که به وسیله Middlemost (1994) تصحیح شده است (شکل ۵-ب) اغلب در محدوده ترکیبی گرانودیوریت، کوارتزموزنوئیت و مونزونیت واقع شده‌اند. همچنین تعدادی از نمونه‌ها در محدوده گابرو و دیوریت قرار گرفته‌اند. از نظر شاخص اشباع از آلومین در نمودار Maniar & Piccoli (1989)، مناطق مورد مطالعه در محدوده متاآلومینوس قرار می‌گیرند (شکل ۵-پ). توده‌های گرانیتوئیدی منطقه به دلیل پایین بودن مقدار شاخص اشباع از آلومین، دارا بودن کانی‌های هورنبلند، مگنتیت، اسفن و عدم حضور کانی‌های مسکوویت، ایلمنیت، گارنت و کردیریت از نوع گرانیتوئیدهای تیپ I می‌باشند (Harris et al., 1986). سری ماگمایی گرانیتوئیدهای مناطق قره‌داغ، هفت چشمه و سونگون در نمودارهای Ta/Yb در برابر Ce/Yb و Th/Yb ارائه شده به وسیله Muller & Groves (1997) در محدوده کالک‌آلکال و منطقه شیورداغ در محدوده شوشونیتی واقع شده‌اند (شکل ۵-ت). بالا بودن مقدار پتاسیم در شیورداغ احتمالاً به دلیل مرتبط بودن آن با محیط کششی پس از تصادم (Aghazadeh et al., 2010, 2011) یا آرایش زیاد ماگما با مواد پوسته‌ای بوده است. برای تعیین محیط زمین‌ساختی گرانیتوئیدهای منطقه، از رده‌بندی Pearce et al. (1984) که بر اساس عناصر کمیاب Ta, Nb, Zr, Yb و Y طراحی شده، استفاده گردید (شکل ۵-ث، ج). بر اساس این رده‌بندی توده‌های نفوذی منطقه مورد مطالعه بیشتر در محدوده گرانیت‌های کمان آتشفشانی و محیط‌های همزمان با برخورد (VAG, Syn-COLG) و پس از تصادم (Postcollision) واقع شده‌اند. بر اساس نمودار Zr/TiO₂ در برابر Ce/P₂O₅ ارائه شده توسط Muller & Groves (1997) که برای تفکیک محیط‌های کمان قاره‌ای همزمان با تصادم و پس از تصادم (Postcollisional Arc) به کار می‌رود، در محدوده کمان قاره‌ای (Continental Arc) قرار گرفته‌اند (شکل ۵-ح).

۴-۳. ژئوشیمی گرانیتوئیدهای منطقه (عناصر اصلی، فرعی و کمیاب) و ارتباط آن با تمرکز مولیبدن

۴-۳-۱. عناصر اصلی

مطالعات حاضر نشان می‌دهد که میانگین اکسیدهای عناصر اصلی و سایر عناصر موجود در نفوذی‌های منطقه، از جمله Mo, Sr, Rb, Nb تفاوت‌ها و شباهت‌هایی دارند که در جدول ۲ نشان داده شده است. در جدول ۳ داده‌های به دست آمده از این مناطق با برخی از کانسارهای مس و مولیبدن پورفیری دنیا که از نظر محیط زمین‌ساختی و سنی شباهت داشته مقایسه شده است. در تعبیر و تفسیر توده‌های قره‌داغ (اردوباد) و شیورداغ از نسبت‌های Na₂O/K₂O, A/CNK, MgO/FeO و Rb/Ba, K/Ba, Na₂O/CaO، در استوک‌های سونگون و هفت چشمه به خاطر دگرسان شدن آنها و تحرک عناصر اصلی، از نسبت‌های موجود عناصر غیرمتحرک (Zr/Hf و Zr/Ti) استفاده شده است. مقادیر میانگین

احتمالاً به دلیل شکستن زود هنگام کمپلکس‌های مولیبدن (HMoO_4^- ; $\text{Mo}(\text{OH})_3^+$)، H_2MoO_4 و MoO_2^{+2} بوده است که در دما و شرایط اکسیدان بالا حمل شده‌اند (Smith et al., 1980). همچنین بخشی از Mo موجود در زون پتاسیک، می‌تواند ناشی از وجود مقادیر قابل توجه بیوتیت و مگنتیت باشد، زیرا بیوتیت و مگنتیت تمرکز دهنده عنصر Mo می‌باشند (Beus & Grigorian, 1977)، در این شرایط طی فرایند دگرسانی و تخریب کانی‌های بیوتیت اولیه، بخش عمده مولیبدن موجود در آنها آزاد می‌شود. اما گاهی اوقات مقداری از مولیبدن می‌تواند در شبکه کانی‌های بیوتیت ثانویه باقی بماند. بخش اعظم عنصر مولیبدن آزاد شده در فرایند دگرسانی از شبکه کانی‌های فرومنیزین اولیه (بیوتیت و هورنبلند) با گوگرد موجود در محلول گرمایی، ترکیب و به صورت مولیبدنیت برجای گذاشته می‌شود. این نوع مولیبدنیت، بیشتر به صورت افشان و دانه‌ریز در داخل و حواشی کانی‌های بیوتیت در زون پتاسیک می‌شود. بخشی دیگر از کانی مولیبدنیت، در رگچه‌های کوارتزی زون پتاسیک متمرکز می‌شود. به احتمال زیاد این نوع مولیبدنیت‌ها از محلول‌های گرمایی حاوی کمپلکس‌های اکسیدی و هیدرواکسیدی مولیبدن در دمای بالا نهشته شده‌اند. به دلیل وجود بیوتیت و مگنتیت به عنوان تمرکز دهنده مولیبدن (Beus & Grigorian, 1977)، در زون پتاسیک و شکستن کمپلکس‌های مولیبدن در دماهای بالاتر، میزان تمرکز مولیبدن در این زون به صورت فاز سولفیدی (مولیبدنیت) به بیشینه مقدار خود می‌رسد. مقادیر عناصر Rb، Sr، Nb، Tm، Yb، Y و نسبت به انواع LREE (La، Pr، Ce، Nd) احتمالاً ناشی از جدایش آنها توسط پیروکسن در بخش‌های ژرف‌تر و کمتر تفریق یافته توده‌های نفوذی می‌باشد (شکل ۵-خ). میزان Eu به عنوان شاخص اکسیدان، در توده‌های منطقه بین ۰/۶۵ تا ۲/۷۷ گرم در تن در تغییر است. بی‌هنجاری Eu در ماگماهای فلسیک، به وسیله فلدسپات‌ها و فوگاسیت اکسیژن کنترل می‌شود، به طوری که میزان Eu^{+2} در پلاژیوکلاز و پتاسیم فلدسپار افزایش می‌یابد. بنابراین جدایش فلدسپات در مذاب فلسیک در نتیجه تفریق بلوری یا ذوب بخشی، سبب پیدایش بی‌هنجاری منفی Eu در مذاب باقیمانده می‌شود (Rollinson, 1993). بر این اساس تفاوت مقدار Eu در توده‌های منطقه، ناشی از تفاوت مقدار پلاژیوکلاز، آلکالی فلدسپار و شرایط اکسیدان آنها است. در توده‌های با میزان Eu پایین، حالت اکسیدان ماگما نسبتاً بالا است. بخش عمده Eu در ترم‌های بازیک در شبکه پلاژیوکلاز جای گرفته است، بنابراین با افزایش فرایند تفریق بی‌هنجاری منفی Eu در منطقه دیده می‌شود.

افزایش تمرکز و آزاد شدن مولیبدن از ماگما به داخل سیستم گرمایی، شدیداً به ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی ماگما و جریان تبلور آن بستگی دارد (Hildreth, 1979). به نظر می‌رسد در مراحل اولیه تبلور سنگ‌های منطقه، مولیبدن به صورت Mo^{+4} جانشین Al^{+3} و Fe^{+3} و Ti^{+3} در ساختمان کانی‌های مگنتیت، اسفن و ایلمنیت شده، از این رو، در سنگ‌های آذرین بازیک‌تر از گرانودیوریت تمرکز آن صورت نگرفته است (Westra & Keith, 1981). تمرکز بالای Mo با افزایش SiO_2 ، K_2O عناصر کمیاب (Nb، Ta، Rb) و تمرکز پایین (Fe، Ti، Mg، Sr) همراه بوده است (Hildreth, 1979). میزان عناصر Mo، Ta، Nb، HREE در سنگ‌های با مقادیر بالای کانی‌های فرومنیزین (بیوتیت و هورنبلند) و مگنتیت افزایش یافته است. عناصر Ta و Nb در شبکه کانی بیوتیت جای می‌گیرند، از این رو نفوذی‌های بیوتیت‌دار تمرکز بالایی از این عناصر همراه با Mo دارند. در برخی بیوتیت گرانیت‌های حوالی قره‌چیلر میزان بیوتیت بیش از ۱۰ درصد است که نسبت به Mo، Ta، Nb و Cu غنی‌شدگی نشان می‌دهند. به نظر می‌رسد کانی بیوتیت عامل افزایش این عناصر در ماگما نیست ولی می‌تواند نقش تمرکز دهنده آنها را بازی کند. کانی‌های فرومنیزین، مگنتیت، ایلمنیت و اسفن از تمرکز دهنده‌های مولیبدن، پلاژیوکلاز و پتاسیم فلدسپار به عنوان حامل آن در سنگ‌های ماگمایی می‌باشند (Beus & Grigorian, 1977). میزان مولیبدن در توده‌های نفوذی بیوتیت‌دار ۹ گرم در تن و در انواع نفوذی‌های با بیوتیت کم ۲ گرم در تن می‌باشد (سهرابی، ۱۳۸۲؛ رضایی‌اقدام و سهرابی، ۱۳۸۹). از این رو توده‌های نفوذی بیوتیت‌دار با تمرکز بالای Ta، Nb و Mo می‌تواند بعنوان شاخصی برای مستعد بودن از نظر کانه‌زایی Mo مورد استفاده قرار گیرد. در این توده‌ها تمرکز بالای Mo بیشتر در زون پتاسیک در رگچه‌های کوارتزی صورت گرفته است، که

و عناصر Zr، Hf، Sm، Y، Yb تهی‌شدگی نشان می‌دهند. غنی‌شدگی عناصر Ba، Rb، K و Th گویای ورود آنها از آب موجود در رسوبات فرورانشی (آب دریا) به گوشته بالایی از طریق پوسته فرورونده می‌باشد. تهی‌شدگی عناصر Nb، Ta، Yb و نشانگر نامحلول بودن آنها در آب موجود در رسوبات فرورانشی (آب دریا) و در نتیجه ورود کمتر آنها به گوشته متاسوماتیزه در حین فرورانش پوسته اقیانوسی می‌باشد. تهی‌شدگی عناصر یاد شده احتمالاً در ارتباط با ذوب گوشته بالایی است که نسبت به گوشته MORB تهی شده‌اند (Rollinson, 1993).

۶-۳. عناصر کمیاب

غنی‌شدگی عناصر REE به ویژه انواع MREE (Gd، Ho، Eu، Tb، Dy و Sm) در مذاب‌های فلسیک و حدواسط توسط مقدار هورنبلند کنترل می‌شود (Rollinson, 1993). در توده‌های منطقه میزان عناصر MREE از جمله Sm افزایش یافته است و با ازدیاد مقدار هورنبلند آنها مطابقت دارد. در بیشتر توده‌ها اسفن کانی مشاهده می‌شود که اثری مشابه کانی هورنبلند دارد. کاهش میزان عناصر HREE (Tm، Yb، Er، Lu و Y) از جمله Yb و نسبت به انواع LREE (La، Pr، Ce، Nd) احتمالاً ناشی از جدایش آنها توسط پیروکسن در بخش‌های ژرف‌تر و کمتر تفریق یافته توده‌های نفوذی می‌باشد (شکل ۵-خ). میزان Eu به عنوان شاخص اکسیدان، در توده‌های منطقه بین ۰/۶۵ تا ۲/۷۷ گرم در تن در تغییر است. بی‌هنجاری Eu در ماگماهای فلسیک، به وسیله فلدسپات‌ها و فوگاسیت اکسیژن کنترل می‌شود، به طوری که میزان Eu^{+2} در پلاژیوکلاز و پتاسیم فلدسپار افزایش می‌یابد. بنابراین جدایش فلدسپات در مذاب فلسیک در نتیجه تفریق بلوری یا ذوب بخشی، سبب پیدایش بی‌هنجاری منفی Eu در مذاب باقیمانده می‌شود (Rollinson, 1993). بر این اساس تفاوت مقدار Eu در توده‌های منطقه، ناشی از تفاوت مقدار پلاژیوکلاز، آلکالی فلدسپار و شرایط اکسیدان آنها است. در توده‌های با میزان Eu پایین، حالت اکسیدان ماگما نسبتاً بالا است. بخش عمده Eu در ترم‌های بازیک در شبکه پلاژیوکلاز جای گرفته است، بنابراین با افزایش فرایند تفریق بی‌هنجاری منفی Eu در منطقه دیده می‌شود.

افزایش تمرکز و آزاد شدن مولیبدن از ماگما به داخل سیستم گرمایی، شدیداً به ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی ماگما و جریان تبلور آن بستگی دارد (Hildreth, 1979). به نظر می‌رسد در مراحل اولیه تبلور سنگ‌های منطقه، مولیبدن به صورت Mo^{+4} جانشین Al^{+3} و Fe^{+3} و Ti^{+3} در ساختمان کانی‌های مگنتیت، اسفن و ایلمنیت شده، از این رو، در سنگ‌های آذرین بازیک‌تر از گرانودیوریت تمرکز آن صورت نگرفته است (Westra & Keith, 1981). تمرکز بالای Mo با افزایش SiO_2 ، K_2O عناصر کمیاب (Nb، Ta، Rb) و تمرکز پایین (Fe، Ti، Mg، Sr) همراه بوده است (Hildreth, 1979). میزان عناصر Mo، Ta، Nb، HREE در سنگ‌های با مقادیر بالای کانی‌های فرومنیزین (بیوتیت و هورنبلند) و مگنتیت افزایش یافته است. عناصر Ta و Nb در شبکه کانی بیوتیت جای می‌گیرند، از این رو نفوذی‌های بیوتیت‌دار تمرکز بالایی از این عناصر همراه با Mo دارند. در برخی بیوتیت گرانیت‌های حوالی قره‌چیلر میزان بیوتیت بیش از ۱۰ درصد است که نسبت به Mo، Ta، Nb و Cu غنی‌شدگی نشان می‌دهند. به نظر می‌رسد کانی بیوتیت عامل افزایش این عناصر در ماگما نیست ولی می‌تواند نقش تمرکز دهنده آنها را بازی کند. کانی‌های فرومنیزین، مگنتیت، ایلمنیت و اسفن از تمرکز دهنده‌های مولیبدن، پلاژیوکلاز و پتاسیم فلدسپار به عنوان حامل آن در سنگ‌های ماگمایی می‌باشند (Beus & Grigorian, 1977). میزان مولیبدن در توده‌های نفوذی بیوتیت‌دار ۹ گرم در تن و در انواع نفوذی‌های با بیوتیت کم ۲ گرم در تن می‌باشد (سهرابی، ۱۳۸۲؛ رضایی‌اقدام و سهرابی، ۱۳۸۹). از این رو توده‌های نفوذی بیوتیت‌دار با تمرکز بالای Ta، Nb و Mo می‌تواند بعنوان شاخصی برای مستعد بودن از نظر کانه‌زایی Mo مورد استفاده قرار گیرد. در این توده‌ها تمرکز بالای Mo بیشتر در زون پتاسیک در رگچه‌های کوارتزی صورت گرفته است، که

۷- فازهای مختلف کانه‌زایی

سنگ درونگیر آنها، کانه‌زایی به اشکال مختلف افشان، رگه‌ای و اسکارنی رخ داده است. مقدار کانه‌زایی Mo همراه با کانه‌زایی Cu در مناطق مختلف، متفاوت است. بیشترین مقدار مولیبدن مربوط به کانسارهای هفت چشمه و قره‌چیلر و کمترین آن، در اسکارن‌های حاشیه شیورداغ می‌باشد.

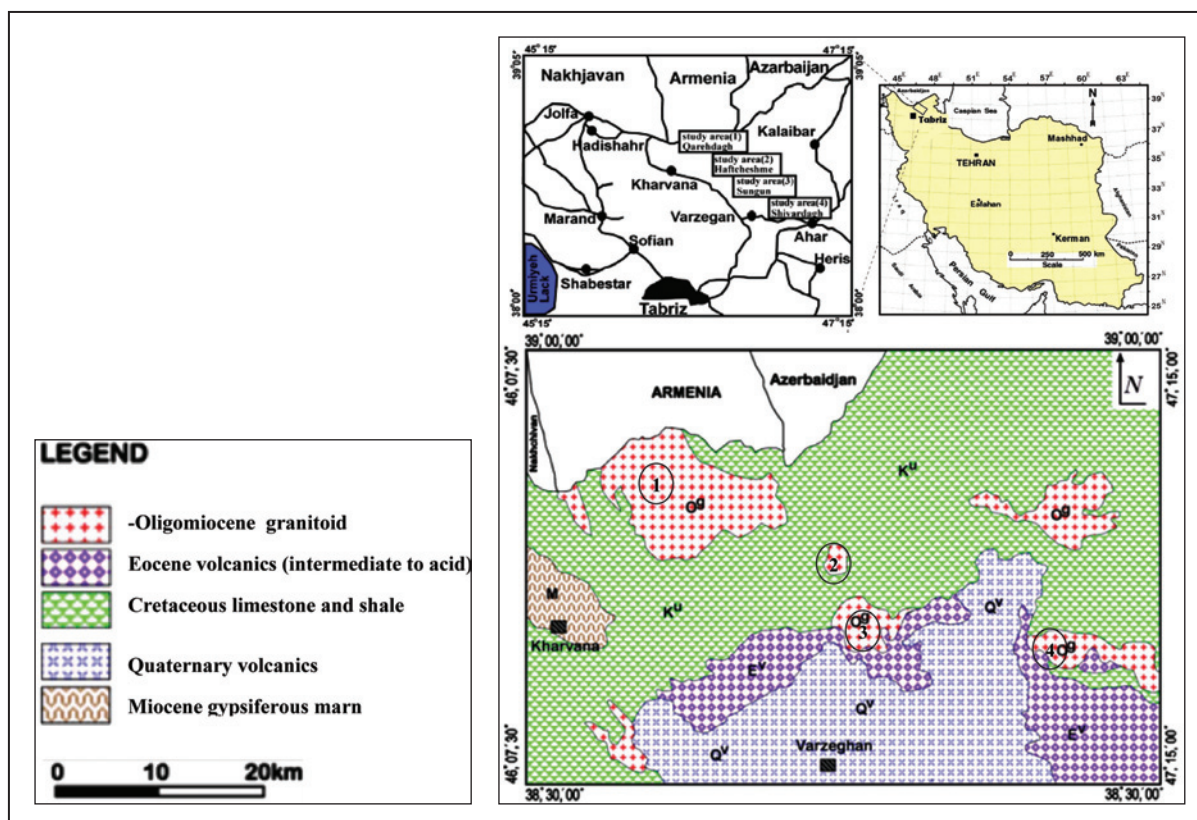
۸- نتیجه‌گیری

مطالعات گویای آن است که در نوار قره‌داغ - شیورداغ، کانه‌زایی Cu-Mo به سه حالت افشان، رگه‌ای و اسکارنی در ارتباط با توده‌های نفوذی گرانودیوریتی و کوارتزموزنویتی در مرکز باتولیت قره‌داغ-اردوباد (به صورت رگه‌ای)، حاشیه شیورداغ (اسکارن‌های انجر-زندآباد) و در استوک‌های سونگون و هفت چشمه (افشان و رگه‌ای) رخ داده است. کانه‌زایی مرتبط با رگه و رگچه‌های کوارتز و افشان عمدتاً در زون‌های پتاسیک، پتاسیک-فیلیک و به ندرت در زون فیلیک توسعه یافته‌اند. توده‌های نفوذی عامل کانه‌زایی از نوع I، کالک‌آلکانل با پتاسیم متوسط تا بالا و متاآلومینوس بوده و در کمان‌های آتشفشانی همزمان با برخورد (VAG, Syn-COLG) و محیط‌های کششی پس از تصادم مرتبط با کمان قاره‌ای تشکیل شده‌اند. مقادیر عناصر (La, Ce, Pr, LREE و Si, K, Rb, Ba, Nd) توده‌های نفوذی منطقه (توده‌های نوع تفریق یافته و اسیدی) بالا می‌باشد. غنی‌شدگی این توده‌ها از عناصر K, Rb, Ba و تهی‌شدگی از Zr, Nb, Ta, Y, Yb نشان‌دهنده متاسوماتیسم گوشته بالایی به وسیله پوسته اقیانوسی فرورونده است. سپس در اثر تولید ماگما و عبور آن از پوسته نسبتاً سبتر، توانسته است نسبت به عناصر کالکوفیل (مس) و کالکوفیل-لیتوفیل (مولیبدن) غنی‌تر شود.

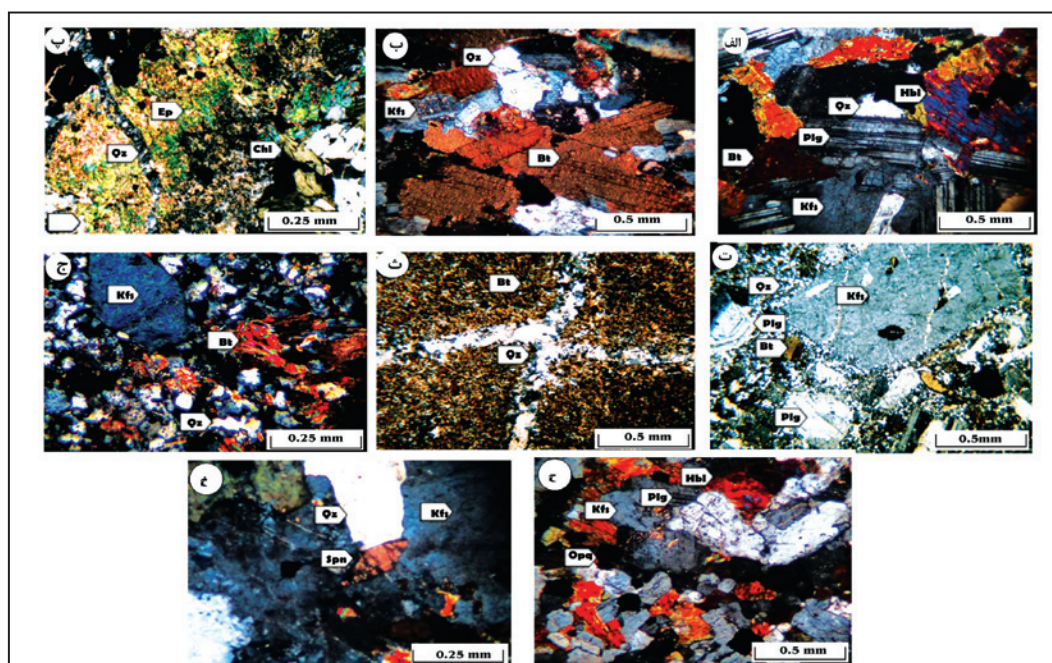
سپاسگزاری

در پایان از داوران محترم مقاله که با نظرات ارزنده و سازنده خود سبب بالا بردن سطح علمی مقاله شده‌اند، سپاسگزاریم. از سردبیر و کارشناسان محترم دفتر فصلنامه علوم‌زمین که با تلاش و کوشش فراوان، زمینه داوری و چاپ مقالات را فراهم می‌نمایند، تقدیر و تشکر می‌نماییم.

مطالعات حاضر نشان می‌دهد که در نوار قره‌داغ (اردوباد) - شیورداغ، دو فاز ماگمایی گرانودیوریتی (قدیمی‌تر) و مونزونیتی (جوان‌تر) تشکیل شده است (Aghazadeh et al., 2011). اسکارن‌های تشکیل شده در حاشیه باتولیت‌های شیورداغ و قره‌داغ (اردوباد) در ارتباط با فاز گرانودیوریتی تشکیل شده‌اند. در مناطقی که ترکیب توده به سمت دیوریت تمایل داشته باشد، اسکارن حاصله آهن‌دار و در مناطقی که ترکیب توده اسیدی (گرانودیوریتی) باشد اسکارن مس تشکیل شده است. در اکثر اسکارن‌های Fe-Cu، محصول جانبی Au (جوان شیخ، مزرعه، مرز رود، کرنگان و کمتال) و در اسکارن‌های Cu-Fe مرتبط با گرانودیوریت‌ها که میزان Fe پایین است، محصول جانبی Mo می‌باشد (زندآباد، انجر). در این منطقه، بعضی از اسکارن‌ها فقط از نوع آهن‌دار هستند (پهناور، آستمال و آوان). کانه‌زایی Cu-Mo-Au مرتبط با زون‌های دگرسانی، به صورت افشان و رگه‌ای شکل گرفته‌اند و با فاز جوان‌تر کوارتزموزنویتی در ارتباط هستند (قره‌چیلر، قره‌دره، انیق، سونگون، هفت چشمه، خوینرود، یارالوجه و دره علی‌جواد). در این کانسارها، استوک کانه‌دار یا به داخل واحدهای کرتاسه و انوسن (هفت چشمه، سونگون، دره علی‌جواد) و یا به داخل فاز گرانودیوریتی قدیمی (قره‌چیلر، قره‌دره، انیق) نفوذ کرده است. همه توده‌های نفوذی کانه‌دار دگرسان شده و خرد شده‌اند و باعث خردشدگی و دگرسانی سنگ‌های درونگیر نیز شده‌اند. در منطقه انیق، بخش بالایی استوک کانه‌دار در سطح رخنمون یافته است، اما در قره‌چیلر و قره‌دره، آپوفیزهایی از استوک کانه‌دار به صورت دایک تظاهر یافته است. در کانسارهای سونگون و هفت چشمه، شرایط اندکی متفاوت بوده و بخش عمده استوک‌های مرتبط با کانه‌زایی Cu-Mo در سطح رخنمون دارند. بنابراین وقتی که ژرفای جایگیری، سنگ درونگیر و ترکیب استوک‌های کانه‌دار متفاوت باشد، شرایط فیزیکی و شیمیایی حاکم بر نوع و مقدار کانه‌زایی آنها متفاوت خواهد بود. تفاوت در مقدار و نوع کانه‌زایی Cu-Mo در نوار قره‌داغ - شیورداغ ناشی از موارد یاد شده شده می‌باشد. در کل مناطق تحت مطالعه، کانه‌زایی Cu-Mo در ارتباط با توده‌های کوارتزموزنویتی و گرانودیوریتی است و تقریباً ویژگی ژئوشیمیایی و سنگ‌شناختی مشابهی دارند. به عبارتی کانه‌زایی Cu-Mo نوار قره‌داغ - شیورداغ از نظر تکنوماگمایی در شرایط مشابهی شکل گرفته‌اند. در شرایط مختلف حاکم بر کانه‌زایی، ژرفای جایگیری توده‌ها و نوع

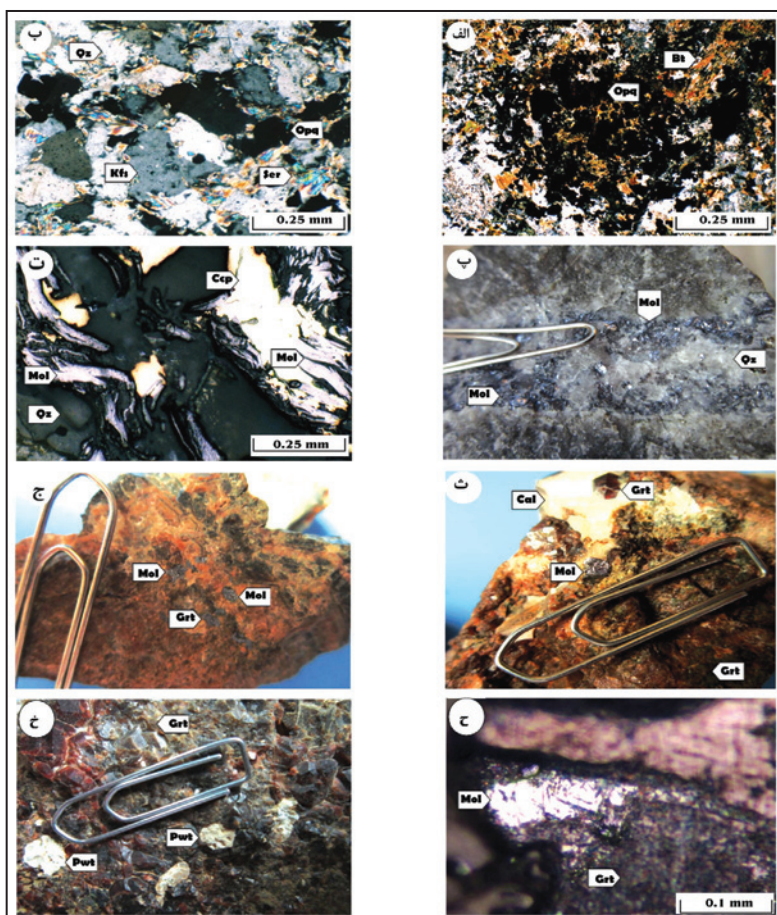
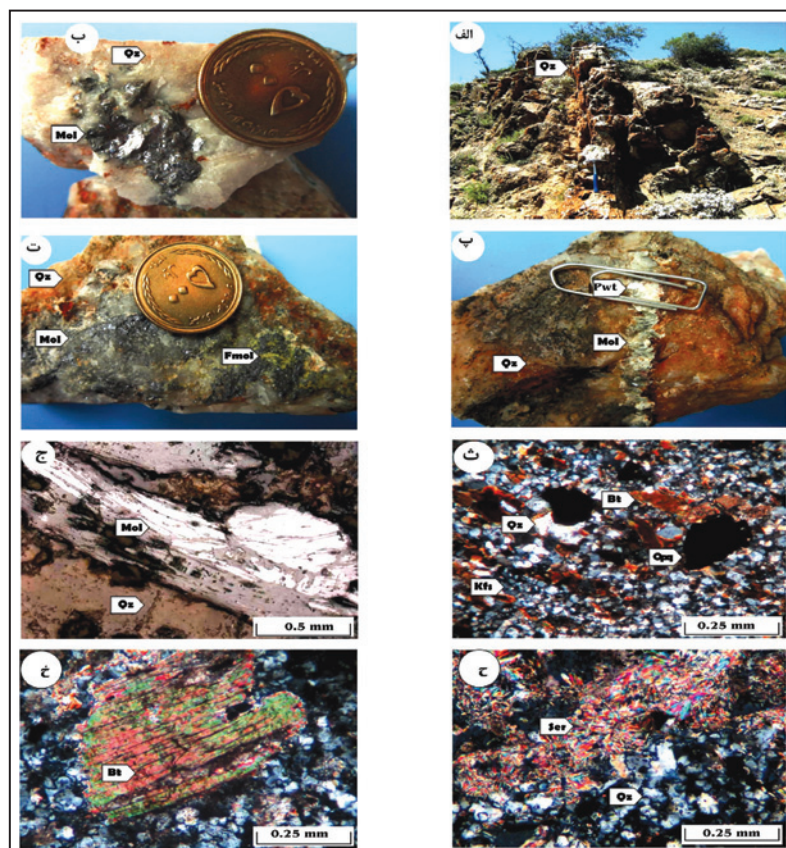


شکل ۱- نقشه زمین شناسی و موقعیت محدوده های مورد مطالعه در آن.

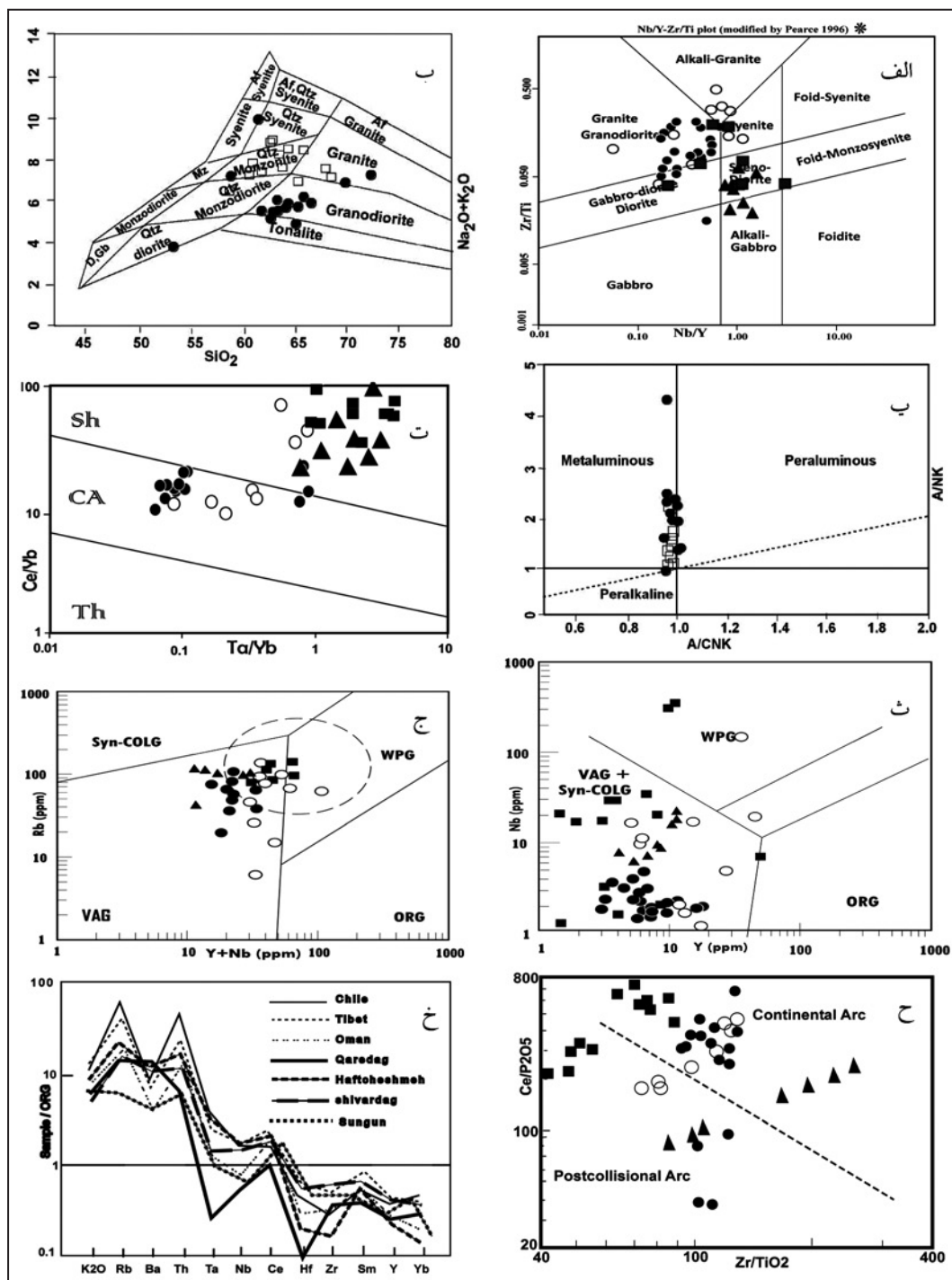


شکل ۲- کانی ها و بافت توده های نفوذی منطقه مورد مطالعه در نور XPL، الف) توده نفوذی قره داغ شامل کانی های کوارتز (Qz)، پلاژیوکلاز (Plg)، پتاسیم فلدسپار (Kfs) و بیوتیت (Bt) با بافت گرانولار؛ ب) تصویر بیوتیت های شکل دار در توده بیوتیت گرانیت قره چیلر؛ پ) تجزیه پیروکسن به کانی های کدر (اپیک) (Opq) و کانی های اپیدوت (Ep)، کلریت (Chl) در کانسار هفت چشمه؛ ت) توده گرانودیوریت هفت چشمه حاوی کوارتز (Qz)، پلاژیوکلاز (Plg)، پتاسیم فلدسپار (Kfs) و بیوتیت (Bt) در زمینه ریز کوارتز و پتاسیم فلدسپار (بافت پورفیری)؛ ث) زون پتاسیک هفت چشمه که توسط رگچه های کوارتز قطع شده است؛ ج) توده کوارتز مونزونیت سونگون حاوی درشت بلورهای پتاسیم فلدسپار و بیوتیت در زمینه ریزدانه کوارتز و پتاسیم فلدسپار (بافت پورفیری)؛ ح) گرانودیوریت شیورداغ حاوی کانی های کوارتز (Qz)، پلاژیوکلاز (Plg)، پتاسیم فلدسپار (Kfs)، هورنبلند (Hbl) و کانی های کدر (Opq) با بافت گرانولار؛ خ) اسفن رومبندر (Spn) در کنار کوارتز (Qz) و پتاسیم فلدسپار (Kfs) در توده گرانودیوریت شیورداغ.

شکل ۳- کانه‌زایی مولیبدن و زون‌های دگرسانی در مناطق قره‌داغ و سونگون؛ الف) رگه کوارتزی تقریباً قائم به ستبرای ۵/۰ متر، حاوی مولیبدنیت در منطقه قره‌چیلر؛ ب) آثار کانه‌زایی مولیبدنیت (Mol) به اندازه ۱۵ میلی‌متر در داخل رگه کوارتزی در منطقه قره‌چیلر؛ پ) رگچه مولیبدنیت به ستبرای ۱۰ میلی‌متر در داخل رگه کوارتزی در حال تبدیل به فری‌مولیبدات (Fmol) در منطقه قره‌دره؛ ت) مولیبدنیت موجود در داخل رگچه کوارتزی در منطقه قره‌دره که بخشی از آن به فری‌مولیبدات (Fmol) تبدیل شده است (زرد خردلی)؛ ث) دگرسانی پتاسیک در منطقه قره‌چیلر، حاوی کانی‌های بیوتیت، کوارتز، پتاسیم‌فلدسپار و کانی‌های کدر (مگنتیت و سولفید)، در نور XPL؛ ج) تصویر کانه مولیبدنیت (Mol) در منطقه قره‌چیلر در نور XPL؛ ح) زون دگرسانی فلیک، حاوی سریسیت (Ser) و کوارتز در منطقه سونگون در نور XPL؛ خ) زون دگرسانی پتاسیک، حاوی بیوتیت سبز مایل به قهوه‌ای در زمینه ریزدانه‌ای از کانی‌های کوارتز و پتاسیم‌فلدسپار در کانسار سونگون در نور XPL.



شکل ۴- دگرسانی و کانه‌زایی در کانسار هفت چشمه و باتولیت شیورداغ، الف) زون پتاسیک کانسار هفت چشمه حاوی کانی‌های بیوتیت، نوفرمه و کانی‌های کدر در زمینه‌ای دانه ریز از کوارتز و پتاسیم‌فلدسپار در نور XPL؛ ب) زون دگرسانی فلیک کانسار هفت چشمه حاوی کانی‌های سریسیت، پتاسیم‌فلدسپار و کوارتز در نور XPL؛ پ) رگچه حاوی مولیبدنیت و کوارتز در کانسار هفت چشمه به ستبرای ۱۰ میلی‌متر (نمونه دستی)؛ ت) تصویری از کانه‌های مولیبدنیت و کالکوپیریت (Ccp) در کانسار هفت چشمه در نور XPL؛ ث) ورقه مولیبدنیت به اندازه ۵ میلی‌متر در کنار گارنت (Grt) و کلسیت (Cal) در زون گارنتیت اسکارن انجرده؛ ج) ورقه‌های مولیبدنیت به اندازه ۱ تا ۳ میلی‌متر در امتداد شکستگی‌ها و سطوح زونه‌بندی در داخل کانی گارنت در زون گارنتیت اسکارن انجرده؛ ح) پولک‌های مولیبدنیتی در داخل کانی گارنت در اسکارن زندآباد در نور XPL؛ خ) ورقه‌های مولیبدنیت هگزاگونال در حال تبدیل به فری‌مولیبدات (Fmol) در داخل کانی گارنت بلورین در منطقه انجرده.



شکل ۵- نمودارهای رده‌بندی، تعیین شاخص اشباع و سری ماگمایی، محیط زمین‌ساختی و ویژگی ژئوشیمی توده‌های نفوذی در منطقه مورد مطالعه، الف) رده‌بندی نفوذی‌ها براساس نمودار (Pearce 1996؛ ب) رده‌بندی توده‌های نفوذی بر اساس روش TAS با نمودار (Middlemost 1994)، بر اساس این نمودارها سنگ‌های منطقه در محدوده گرانودیوریت، مونزونیت و کوارتز مونزونیت واقع شده‌اند؛ پ) شاخص اشباع از آلومین در نمودار (Maniar & Piccoli 1989؛ ت) سری ماگمایی گرانیتیویدها در نمودار Ta/Yb در برابر Ce/Yb ارائه شده به وسیله (Muller & Groves 1997)، کل نمونه‌های منطقه در محدوده کالک‌آلکان و شوشونیتی واقع شده‌اند؛ ث و ج) تمایز محیط نکتونیک گرانیتیویدهای منطقه در نمودارهای (Pearce et al. 1984) که بیشتر نمونه‌ها در محدوده VAG، Syn-COLG واقع شده‌اند؛ ح) تفکیک محیط زمین‌ساختی بر اساس نمودار Zr/TiO₂ در برابر Ce/P₂O₅ ارائه شده توسط (Muller & Groves 1997؛ خ) توزیع عناصر کمیاب و جزئی در نمودار عنکبوتی (Spider diagrams) ارائه شده توسط (Pearce et al. 1984).

داده‌های استفاده شده در نمودارها: ● قره‌چیلر (سهرابی، ۱۳۸۲؛ مختاری، ۱۳۸۷)، ○ هفت چشمه (جدایی، ۱۳۸۹)، ▲ سونگون (شرکت ملی صنایع مس ایران)، ■ شیورداغ (سهرابی و رضایی‌اقدم، ۱۳۸۸ و Aghazadeh et al., 2011)

جدول ۱- مقایسه نوع و درصد کانی‌های تشکیل دهنده توده‌های نفوذی محدوده مورد مطالعه

نام منطقه	نوع توده نفوذی	درصد کانی‌های تشکیل دهنده					توضیحات
		کوارتز	پلاژیو-کلاز	الکالی فلدسپار	بیوتیت و هورنبلند	کانی اپک	
قره‌داغ (اردوباد)	گرانودیوریت	۱۰-۲۵	۳۵-۴۵	۳۰-۳۵	۱۰-۳۰	۱-۵	تبدیل کانی هورنبلند به بیوتیت و بیوتیت به کلریت، بیوتیت اولیه شکل دار (ماگمایی)، بیوتیت ثانویه (ریزدانه و رگچه‌ای هیدروترمال)، تجزیه پلاژیو کلاز به سرسیت و کانی آلکالی فلدسپار به کانی‌های رسی
هفت چشمه (بالوجه)	گرانودیوریت	۲۵-۳۵	۲۵-۵۰	۱۰-۲۰	۸-۱۵	۱-۵	کانی پلاژیو کلاز با منطقه‌بندی متحدالمرکز و گاه در حال تجزیه به سرسیت، کانی پیروکسن در حال تجزیه به کانی‌های اپیدوت، کلریت، اکسینولیت و اکسیدهای آهن، کوارتز ثانویه بصورت جانیشینی و رگچه‌ای، بیوتیت اولیه درشت و ثانویه دانه ریز در متن سنگ (زون پتاسیک) در سنگ دیوریتی گاهی ۵-۲۰٪ کانی پیروکسن دیده میشود
	کوارتز مونزونیت	۱۰-۲۵	۳۰-۴۵	۳۵-۴۰	۲-۵	۲-۵	
	کوارتز دیوریت	۲-۵	۳۵-۶۵	۲-۵	۱۰-۴۰	۳-۵	
سونگون	گرانودیوریت	۵-۱۰	۴۰-۵۰	۱۵-۲۰	۳-۱۰	۲-۵	کانی پلاژیو کلاز در حال تجزیه به سرسیت، کانی آلکالی فلدسپار به کائولن، حاوی دو نوع بیوتیت اولیه شکل دار و قهوه‌ای رنگ و ثانویه بی شکل و سبز رنگ (هیدروترمالی)
	کوارتز مونزونیت	۱۰-۱۵	۲۵-۳۵	۳۰-۴۰	۱۰-۱۸	۳-۸	
شیورداغ	گرانودیوریت	۲۰-۲۵	۲۰-۵۰	۱۵-۳۰	۵-۱۵	۱-۴	اسفن‌های روموئندر (حداکثر تا ۱ درصد)، پلاژیو کلازها گاهی دارای منطقه بندی بوده و در حال تجزیه به کانی‌های اپیدوت، کلسیت و رس می‌باشد.

جدول ۲- نتایج تجزیه اکسیدهای اصلی (درصد) و عناصر Mo, Nb, Rb, Sr بر حسب ppm (قره‌چیلر (q)، سونگون (Sn)، هفت چشمه (HT)، شیورداغ (S)).

No	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	Nb	Rb	Sr	Mo
q1	72.1	0.32	12.4	1.09	0.02	0.81	3.2	3.0	4.4	0.12	6.0	104	718	8
q2	58.8	0.94	16.2	3.05	0.12	2.75	7.1	4.1	3.1	0.54	9.0	58	1162	9
q3	53.4	0.65	17.6	3.23	0.17	4.17	9.4	3.3	0.7	0.23	6.0	19	634	9
q4	61.6	0.55	15.6	2.66	0.11	2.55	6.2	3.4	2.3	0.12	8.0	63	401	7
q5	62.4	0.58	15.0	2.77	0.13	2.79	6.3	2.9	2.2	0.12	6.0	57	388	13
q6	64.5	0.48	15.0	2.89	0.11	2.12	5.5	3.0	2.9	0.13	10.0	61	374	8
q7	69.4	0.39	14.6	1.53	0.04	1.26	2.9	3.8	3.2	0.14	9.0	75	643	11
q8	62.9	0.57	15.3	2.59	0.11	2.48	6.1	3.1	2.3	0.14	7.0	63	394	10
q9	65.1	0.47	15.2	0.7	0.13	1.74	5.5	3.3	2.7	0.16	4.5	62	519.5	6
q10	61.5	0.82	15.7	1.1	0.15	2.60	6.9	3.1	2.5	0.15	4.8	38.6	462	1
q11	62.9	0.65	14.8	1.1	0.14	0.99	7.2	3.1	2.2	0.18	4.4	37.1	445	1
q12	64.0	0.85	15.4	0.91	0.12	2.39	5.3	3.2	2.6	0.15	3.4	58.5	488	1
q13	64.2	0.48	15.7	0.74	0.11	2.14	5.7	3.3	2.7	0.18	3.1	65.87	460	1

ادامه جدول ۲

No	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	Nb	Rb	Sr	Mo
q14	63.1	0.47	16.0	0.8	0.11	1.97	5.0	3.8	2.3	0.15	4.7	65	486	0.9
q15	65.7	0.39	15.8	0.5	0.10	1.14	4.8	4.1	2.1	0.17	4.3	63.7	751	1
q16	66.3	0.38	15.1	0.54	0.10	1.18	4.6	3.6	2.4	0.15	4.6	70.9	589	0.5
q17	62.7	0.69	15.0	1.3	0.12	2.55	5.7	3.2	2.4	0.14	4.4	47.3	433	1
q18	61.4	0.18	0.7	5.2	7.10	0.15	2.9	6.6	3.4	1.83	5.6	45	452	1
q19	63.2	0.60	15.6	1.01	0.13	2.47	5.7	3.3	2.3	0.15	5.2	49	445	1
q20	65.1	0.47	15.2	0.7	0.13	1.74	5.5	3.3	2.7	0.16	4.5	62	519.5	6
S1	68.4	0.44	13.7	1.52	0.07	1.81	3.7	3.4	3.8	0.21	20.0	122	717	5
S2	65.2	0.58	14.0	2.15	0.08	2.19	4.5	4.0	3.0	0.29	23.0	82	930	4
S3	60.4	0.83	16.6	2.67	0.07	2.07	5.1	3.7	3.5	0.36	37.5	99.5	804	4
S4	61.7	0.72	16.5	2.53	0.09	1.92	4.7	3.6	3.9	0.29	19.0	72	383	5
S5	62.7	0.60	16.0	2.69	0.06	1.55	3.7	3.4	5.5	0.25	19.0	55	260	3
S6	64.0	0.60	16.3	2.3	0.08	1.20	4.3	3.3	4.5	0.23	38.5	135	525	7
S7	68.0	0.47	15.4	0.53	0.03	1.35	4.7	3.7	3.9	0.19	22.5	92	526	8
S8	65.6	0.45	15.6	1.85	0.05	1.70	3.2	4.2	4.2	0.21	22.5	123	688	2
S9	58.6	0.78	17.9	2.44	0.07	2.10	7.1	4.9	1.6	0.59	5.0	67	1460	12.5
S10	60.9	0.66	17.8	2.57	0.08	1.40	5.0	4.7	3.1	0.29	3.5	86	1020	59
S11	63.9	0.61	15.7	2.83	0.08	0.44	2.4	7.6	0.9	0.21	2.0	44	1012	17
S12	63.5	0.52	16.7	1.87	0.07	1.10	3.9	4.4	3.5	0.23	20.0	85	722	4.5
S13	63.4	0.52	15.5	1.97	0.07	1.50	3.6	3.9	4.3	0.21	8.0	124	671	69
S14	63.0	0.54	16.3	2.08	0.04	0.54	3.4	4.5	4.5	0.26	13.0	130	900	5
Sn1	66.0	0.41	15.3	2.82	0.02	1.61	2.6	4.2	5.1	0.22	18.1	103	928	1.9
Sn2	67.3	0.40	14.5	2.46	<0.01	1.61	0.3	0.7	9.5	0.23	5.7	120	307	12.9
Sn3	59.7	0.60	14.0	3.42	0.07	2.42	6.0	2.7	6.4	0.40	20.5	85	763	2.4
Sn4	67.1	0.50	14.8	3.64	<0.01	2.69	0.5	0.4	6.4	0.35	6.8	120	152	252
Sn5	63.3	0.50	13.4	2.88	<0.01	2.11	3.1	0.7	7.8	0.33	8.9	104	247	23.8
Sn6	62.5	0.55	15.0	6.13	<0.01	2.90	0.5	0.2	6.4	0.30	7.3	42.1	87.5	2.9
Sn7	66.0	0.41	15.3	2.82	0.02	1.61	2.6	4.2	5.1	0.22	15.2	97.9	861	1.5
Sn8	63.3	0.50	13.4	2.88	<0.01	2.11	3.1	0.7	7.8	0.33	8.2	105	241	20.9
HT1	45.8	1.54	15.0	3.04	0.17	7.73	9.6	3.4	0.2	0.10	1.6	5.8	254	1.5
HT2	75.2	0.36	14.2	1.57	0.01	3.35	0.1	2.7	2.6	0.04	38.0	63.5	26.5	3
HT3	51.8	1.52	13.9	3.02	0.22	4.83	7.8	4.7	0.7	0.26	10.8	14.6	230	1.5
HT4	61.6	0.56	16.9	2.06	0.04	2.11	4.8	4.5	2.7	0.27	18.4	79.4	842	9
HT5	57.0	0.72	14.6	2.22	0.14	2.68	5.5	2.7	4.8	0.45	15.2	148.5	644	3
HT6	62.3	0.70	16.6	2.2	0.03	2.64	3.7	4.3	1.9	0.31	16.0	88.7	531	6
HT7	60.8	0.68	15.3	2.18	0.06	2.31	4.6	2.8	2.2	0.54	18.4	96.5	748	6
HT8	53.9	0.75	16.6	2.25	0.15	4.02	6.7	3.6	2.5	0.21	5.3	42.9	432	2
HT9	50.2	0.94	18.8	2.44	0.22	3.55	9.4	3.5	1.1	0.28	4.0	28.3	555	1.5
HT10	68.6	0.53	14.3	2.03	0.02	1.04	2.4	3.9	1.8	0.10	19.8	68.8	128	5

جدول ۳- ویژگی های کانسارهای استوک ورک مولیبدن (Westra & Keith, 1981) در مقایسه با منطقه مورد مطالعه.

	Calc-alkaline molybdenum stockwork deposits		Pophyry Copper- molybdenum Deposits		Cu-Mo deposit of NW Iran (Qaradagh- Shivardagh belt), Study area			
	Stock type	Plutonic type	Island arc	Continental Margin	Plutonic type	Stock type	Stock type	Plutonic type
Magma series	Calc-alkalic; high K calc-alkalic		Calcic; calc-alkalic	Calcic, calc-alkalic Alkali-calcic	Calc-alkalic	Calc-alkalic	Calc-alkalic	high K calc-alkalic
Geotectonic setting	Compressive continental	Compressive continental Plate margin	Compressive plate margin	Compressive continental Plate margin	Compressive continental Plate margin	Compressive continental Plate margin	Compressive continental Plate margin	Compressive continental Plate margin
Cogenetic igneous Rocks	Quartz monzonite Granite, Alaskite	Granodiorite, Quartz monzonite, Granite, Alaskite, Aplite	Deiorite- quartz monzonite	Granodiorite- quartz monzonite	Granodiorite-quartz monzonite	Granodiorite-quartz monzonite	Granodiorite-quartz monzonite	Granodiorite-quartz monzonite
Porphyry texture	Yes	Yes and no	Yes and no	Yes and no	Yes and no	Yes and no	Yes and no	Yes and no
TiO ₂ %	>0.2	0.1-0.2	>0.3	>0.2	0.17-0.94	0.36-1.5	0.4-0.6	0.43-0.83
Rb ppm	150-350	100-350	<100	<210	19-104	6-148	42-120	44-135
Sr ppm	300-800	100-800	500-1000	450-1500	336-1160	27-842	88-928	260-1460
Nb ppm	<20	<10	<5	<20	6	15.5	11.7	18
Max.Mo content in tons (est)	300000	1600000	30000	1500000	-	-	8888	-
Mos ₂ % in ore zone	0.1-0.25	0.1-0.2	<0.01	0.01-0.1	0.01-1	<0.03	<0.02	0.01-0.02
Important elements	Mo – W- Cu	Mo – Cu – (w)	Cu-Au-(Mo)	Cu-Mo-Ag-Au-Pb-Zn	Cu-Mo-(Au)	Cu-Mo	Cu-Mo	Cu-Mo-(Au)-Ag
Multiple ore shells	No	No	No	Rare	Rare	Rare	Rare	No
Example	Kitsault, Hall Buckingham	Endako, Adanac, Quartz Hill, Mt. Tolman, East Kounrad	Panguna, Atls Marcopper	Bingham San Manuel	Qaradagh (Qarachilar-Qaradareh)	Balojeh (Haftcheshmeh)	Sungun	Shivardagh

کتابنگاری

- افخارنژاد، ج، ۱۳۵۹- تفکیک بخش‌های مختلف ایران از نظر وضع ساختمانی در ارتباط با حوضه‌های رسوبی، نشریه انجمن نفت، شماره ۸۲، ص. ۱۹-۲۸.
- آقازاده، م.، امامی، م.ه.، معین‌وزیری، ح.، رشیدنژاد عمران، ن.، کاسترو، آ.، ۱۳۸۸- پلوتونیزم شوشونیتی، آداکتی (C-Type) و لامپروفیری پس از برخورد در توده‌های خاندی، ارسباران (شمال باختر ایران)، فصلنامه علوم زمین، سال بیستم، شماره ۷۸، ص. ۱۷۳-۱۸۸.
- آقاباتی، س.ع.، ۱۳۸۳- زمین‌شناسی ایران، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۶۰۶.
- امینی فضل، ع.، ۱۳۷۳- مطالعه پترولوژی، مینرالوژی و ژئوشیمی توده نفوذی قره‌داغ (گرانیت اردوباد) واقع در شمال باختر ایران (قولان، دوزال، آستمال)، رساله دکتری، آکادمی علوم جمهوری آذربایجان (به زبان آذری با چکیده فارسی)، ۲۵۸.
- بهار فیروزی، خ.، یعقوب پور، ع.، مهرپرتو، م.، ۱۳۷۸- کانسار مس-مولیبدن پورفیری سونگون و بررسی وضعیت غنی‌شدگی ثانوی در آن، فصلنامه علوم زمین، سال هشتم، شماره ۳۱-۳۲، ص. ۱۶-۲۷.
- پورمعافی، س.م.، ۱۳۸۷- ژئوشیمی، انتشارات آریز زمین، ۲۲۰.
- جدایی، ا.، ۱۳۸۹- بررسی پترولوژیکی توده‌های نفوذی و دایک‌های همراه منطقه بالوجه، پایان‌نامه کارشناسی ارشد گروه زمین‌شناسی، دانشگاه تبریز، ۱۴۷.
- حسن پور، ش.، رسا، ا.، حیدری، م.، متکان، م.، مویده، م.، ۱۳۸۹- زمین‌شناسی، دگرسانی و کانی‌سازی در ذخیره مس-مولیبدن پورفیری هفت چشمه. فصلنامه زمین‌شناسی ایران، سال چهارم، شماره پانزدهم، ص. ۱۵-۲۸.
- حسن پور، ش.، ۱۳۷۹- بررسی زمین‌شناسی اقتصادی و اکتشافات ژئوشیمیایی کوه شیور (شمال اهر)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشگاه آزاد واحد تهران شمال، ۳۳۲.
- حسن پور، ش.، ۱۳۸۹- متالوژنی و کانه‌زایی مس و طلا در زون ارسباران (آذربایجان شرقی)، رساله دکتری، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، ۳۵۶.
- حسین‌زاده، ق.، ۱۳۷۸- بررسی کانسار مس تیپ اسکارنی انجرد، شمال باختر اهر، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تبریز، ۱۱۸.
- رضایی‌اقدم، م.، سهرابی، ق.، ۱۳۸۹- بررسی ژئوشیمی آلتراسیون و ارتباط آن با کانه‌زایی مولیبدن و مس در منطقه قره‌چیلر-قره‌دره (شمال باختر ایران)، مجله علوم پایه دانشگاه آزاد اسلامی، سال ۲۰، شماره ۷۷، ص. ۱۲۹-۱۵۰.
- سهرابی، م.، ۱۳۸۲- بررسی کانی‌سازی مس و مولیبدن و آهن در توده گرانیتی قولان، شرق سیه‌رود، پایان‌نامه کارشناسی ارشد گروه زمین‌شناسی، دانشگاه تبریز، ۱۴۸.
- سهرابی، ق.، ۱۳۸۵- زون‌بندی مینرالیزاسیون Cu-Au و Cu-Mo در زون متالوژنی شمال باختر ایران، بیست و پنجمین گردهمایی علوم زمین، ۳۰ بهمن-۲ اسفند ۱۳۸۵، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ص. ۲۰۵.
- سهرابی، ق.، رضایی‌اقدم، م.، ۱۳۸۸- ارتباط بین ترکیب توده نفوذی با اسکارن‌های نوع Cu-Au، Cu-Mo در زون متالوژنی اهر-ارسباران (شمال باختر ایران)، هفدهمین همایش بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران، ۲۱ تا ۲۲ مرداد ۱۳۸۸، دانشگاه بوعلی سینا همدان، ص. ۵۷۷-۵۸۲.
- سهرابی، ق.، کلاگری، ع.ا.، حسین‌زاده، م.، حاجعلیلو، ب.، ۱۳۹۲- کانه‌زایی مولیبدن در اسکارن‌های انجرد-زندآباد و رابطه آن با ژئوشیمی توده نفوذی، هفدهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران و اولین نشست بین‌المللی کوهزاد زاگرس، ۷ تا ۸ آبان ۱۳۹۲، دانشگاه شهید بهشتی تهران، ص. ۳۹۶-۴۰۳.
- عظیم‌زاده، ز.، ۱۳۷۸- بررسی پترولوژیکی سنگ‌های ولکانیکی و پلوتونیک منطقه زندآباد (شمال باختر اهر) با نگرشی بر پتانسیل اقتصادی منطقه. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه شهید بهشتی، ۲۱۲.
- کریم‌زاده ثمرین، ع.، ملک قاسمی، ف.، سهرابی، ق.، ۱۳۸۱- بررسی کانه‌زایی پورفیری مس، مولیبدن در ناحیه قره‌چیلر-قره‌دره (شرق سیه‌رود-آذربایجان شرقی). مجموعه مقالات ششمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، ۵ تا ۷ شهریور ۱۳۸۱، دانشگاه باهنر کرمان، ص. ۱۹۴-۱۹۷.
- مختاری، م.ع.ا.، معین‌وزیری، ح.، قربانی، م. ر. و مهرپرتو، م.، ۱۳۹۲- زمین‌شناسی و ژئوشیمی کانی‌سازی طلا-مس-مولیبدن در منطقه انیق-قره‌چیلر (شمال خاورخاوانا-آذربایجان خاوری)، فصلنامه علوم زمین، زمستان ۹۲، سال بیست و سوم، شماره ۹۰، صفحه ۱۳۵ تا ۱۵۰.
- مختاری، م.ع.ا.، ۱۳۸۷- پترولوژی، ژئوشیمی و پتروژنز باتولیت قره‌داغ (خاور سیه‌رود - آذربایجان خاوری) و هاله اسکارنی آن، با نگرشی بر کانی‌سازی مرتبط با توده‌ی نفوذی، رساله دکتری، دانشکده علوم پایه، دانشگاه تربیت مدرس، ۳۴۷.
- ملانی، ح.، ۱۳۹۰- ژئوشیمی و سنگ‌شناسی توده گرانودیوریتی مزرعه، شمال اهر، آذربایجان شرقی و مقایسه آن با توده‌های دیگر گرانودیوریتی ایران و جهان، مجله بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران، سال ۱۹، شماره ۱، ص. ۱۸۳-۱۹۸.
- مهندسین مشاور فرازمین ساخت، ۱۳۸۸- گزارش تهیه نقشه زمین‌شناسی اقتصادی شیورداغ، ۱۸۳.

References

- Aghazadeh, M., Castro, A., Badrzadeh, Z. & Vogt, K., 2011- Post-collisional polycyclic plutonism from the Zagros hinterland: the Shaivar Dag plutonic complex, Alborz belt, Iran: Geological Magazine 148: 980-1008.
- Aghazadeh, M., Castro, A., Rashidnejad Omran, N., Emami, M.H., Moinvaziri, H. & Badrzadeh, Z., 2010- The gabbro (shoshonitic)-monzonite-granodiorite association of Khankandi pluton, Alborz Mountains, NW Iran. Journal of Asian Earth Sciences 38:199-219.
- Beus, A.A., Grigorian, S.V., 1977- Geochemical Exploration Methods for Mineral deposits. Trans by R.T. Schneider, Ed by A.A. Levinson, TLLiois: Applied publishing.
- Calagari, A.A., 2004- Geology and fracture-related hypogene hydrothermal alteration and mineralization of porphyry copper deposit at Sungun. Journal of Geological Society of India 64 (5): 595-618.
- Calagari, A.A., Patrick, R.A.D., Polya, D.A., 2001- Veinlets and microveinlets studies in Sungun porphyry copper deposit, East Azarbaijan,

- Iran. Quarterly Journal of Geosciences, Geological Survey of Iran 10 (39-40): 70-79.
- Cox, K.G., Bell, J.D., Pankhurst, R.J., 1979-The interpretation of igneous rocks, George Allen and Unwin, London.
- Harris, N.B.W., Pease, J.A. & Tindle, A.G., 1986- Geochemical characteristics of collision zone magmatism, Geol. Soc 19: 67-81.
- Hezarkhani, A., 2006- Petrology of the intrusive rocks within the Sungun Porphyry Copper Deposit, Azerbaijan, Iran, Journal of Asian Earth Sciences 27: 326-340.
- Hezarkhani, A., 1997-Physicochemical Controls on Alteration and Copper Mineralization in the Sungun Porphyry Copper Deposit, Iran. PhD Thesis, McGill University, Canada 281 pp.
- Hildreth, W., 1979- The Bishop Tuff, Evidence for the origin of compositional zonation in silicic magma chambers: Geol. Soc. America Spec, Paper 180: 43- 75.
- Koçyigit, A., Yilmaz, A., Adamia, S. & Kuloshvili, S., 2001- Neotectonics of East Anatolian Plateau (Turkey) and Lesser Caucasus: Implication for transition from thrusting to strike-slip faulting. Geodin. Acta 14: 177 – 195.
- Maniar, P.D. & Piccoli, P.M., 1989- Tectonic discrimination of granitoids, Geol. Soc. of America Bulletin 101: 635-643.
- Mehrpourtou, M., 1993- Contribution to the geology, geochemistry, ore genesis and fluid inclusion in vestigation on Sungun Cu- Mo porphyry deposit, north- west of Iran, doctoral thesis, Hamburg University.
- Mehrpourtou, M., 1992-Geological map of Varzeghan- scale 1: 100,000, Geol. Surv. Of Iran.
- Mehrpourtou, M., 1997-Geological map of Siahrud- scale 1: 100,000, Geol. Surv. Of Iran.
- Middlemost, E.A.K., 1994- Naming materials in the magma/igneous rock system, Earth Sci Rev 37: 215-224.
- Muller, D. & Groves, D.I., 1997- Potassic igneous & associated gold- copper mineralization. Springer 241pp.
- Pearce, J.A., Harris, N.B.W. & Tindle, A.G., 1984- Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. Journal of petrology 25: 956-983.
- Pearce, J.A., 1996- Sources and setting of granitic rocks. Episodes 19 (4):120-125 .
- Rollinson, H.G., 1993- Using geochemical data: evaluation, presentation and interpretation. Longman Group UK Limited 352 pp.
- Seedorff, E., Dilles, J.H., Proffett, J.M., Jr., Einaudi, M.T., Zurcher, L., Stavast, W.J.A., Johnson, D.A. & Barton, M.D., 2005- Porphyry deposits: Characteristics and origin of hypogene features: Economic geology 100TH Anniversary Volume: 251-298.
- Selby, D., Nesbitt, B.E., Muehlenbachs, K. & Prochaska, W., 2000- Hydrothermal alteration and fluid chemistry of the Endako porphyry molybdenum deposit, British Columbia: Economic geology 95: 183-202.
- Sillitoe, R.H., 2010- porphyry copper systems: Economic geology 105: 3-41.
- Smith, R.W., Norman, D. I. & Popp, C.J., 1890- calculated solubility of molybdenite in hydrothermal solution: Geol. Soc. Am. An, Metting 12: 525 pp.
- United Nations, 2000- Geology and Mineral Resources of Azerbaijan, Atlas of mineral resources of the escap region 15: 216 pp.
- Westra, G. & Keith, S.B., 1981- Classification and genesis of stockwork molybdenum deposits: Economic Geology 76: 844-873.
- Winchester, J. A. & Floyd, P. A., 1977- Geochemical discrimination of different magma series and their differentiation products using immobile elements. Chemical Geology 20: 325-343.
- Zakeri, L., Malekghasemi, F., Jahanghiri, A., Moazzen, M., 2011- Metallogenic implications of biotite chemical composition: Sample from Cu-Mo-Au mineralized granitoids of the Shah Jahan batholiths, Nw Iran: Central European Geology 54(3): 271-294.

Study of Mo Mineralization in Gharehdagh (Ordobad)-Shivardagh Strip with Emphasis on Alteration, Petrology, and Geochemistry of Host Intrusive Bodies (Northwest of Iran)

Gh. Sohrabi ^{1*}, M. R. Hosseinzadeh ², A. A. Calagari ³, B. Hajalilou ⁴

¹ Ph.D. Student, Department of Geology, Faculty of Natural Sciences, Tabriz University, Tabriz, Iran

² Associate Professor, Department of Geology, Faculty of Natural Sciences, Tabriz University, Tabriz, Iran

³ Professor, Department of Geology, Faculty of Natural Sciences, Tabriz University, Tabriz, Iran

⁴ Associate Professor, Payam-e-Noor University, Iran

Received: 2012 October 01

Accepted: 2014 March 30

Abstract

The study area is located in north of East-Azarabaidjan (northwest of Iran). The most important intrusive bodies in the area include the Gharehdagh and Shivardagh batholiths and porphyry stocks of Sungun and Haftcheshmeh. The petrological and petrographical studies show that the composition of intrusives varies from gabbro through diorite, monzonite, and granodiorite to granite. All bodies are I-type and mostly metaluminous and calc-alkaline with medium to high potassium belonging to volcanic arcs. The most important alterations in ore-bearing areas include silicic, potassic, propylitic, phyllic, and argillic. Mo mineralization occurred mostly in quartz veins and veinlets within the potassic zone in porphyry systems and veins and also in endoskarn associated with garnet skarns. The amount of Mo increases in differentiated and biotite-bearing acidic bodies that have high values of Si, K, Rb, and REEs. The intrusive bodies enriched with K, Rb, and Ba and depleted in Zr, Ta, Y, Yb, and Nb elements indicate metasomatism of the upper mantle by subducting oceanic crust and subsequent generation of magma and its passes through relatively thick crust. The bodies bearing Mo mineralization are located mainly in the center of batholiths and have quartz monzonitic and granodioritic compositions.

Key Words: Qareddagh- Shivardagh, Molybdenum, Mineralization, Introsive body, Geochemistry, Petrology

For Persian Version see pages 243 to 258

*Corresponding author: Gh. Sohrabi; E-mail: q_sohrabi@yahoo.com