

بررسی زمین‌شناسی اقتصادی کانسار مس – مولیبدن پورفیری دوگان (محور ترود- چاه شیرین، جنوب غرب شاهرود)

شادی ستاری، محمدرضا حسین‌زاده*، محسن موید

گروه علوم زمین، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

(دریافت مقاله: ۱۴۰۴/۲/۱، نسخه نهایی: ۱۴۰۴/۳/۲۴)

چکیده: گستره معدنی دوگان در کرانه شمالی کویر مرکزی ایران، در شمال غرب روستای ترود از توابع شهرستان شاهرود در استان سمنان واقع است و بخشی از محور ترود- چاه شیرین را دربر می‌گیرد؛ این منطقه از نظر زمین‌شناسی ساختاری نیز در پهنه ایران مرکزی قرار دارد. حجم اصلی واحدهای سنگی موجود در منطقه مورد بررسی شامل گدازه‌های آندزیتی و سنگ‌های آذرآواری و توده‌های شبه آتشفشانی شامل کوارتز مونزونیت تا مونزودیوریت پورفیری، دیوریت تا میکرودیوریت پورفیری و کوارتز دیوریت تا گرانودیوریت پورفیری است. این توده‌های شبه آتشفشانی دارای ماهیت آهکی قلیایی هستند و سرشت متا آلومین تا پرآلومین دارند. این منطقه از نظر محیط زمین ساختی در قوس قاره‌ای عادی تشکیل شده و دارای شاخص شبه آداکیتی است. دگرسانی‌های شاخص دیده شده در منطقه شامل پتاسیمی، فیلی، آرژلیک و پروپیلیتی و همچنین دگرسانی‌های حدواسط آنها هستند. کانه‌زایی در این کانسار بصورت افشان و رگه- رگچه‌ای رخ داده است و مهمترین رگچه‌های داربستی، رگچه‌های کوارتز بوده که دارای کانی‌سازی سولفیدی هستند. کانیهای فلزی مهم شامل کانیهای اولیه (درونزاد) چون پیریت، کالکوپیریت، بورنیت، مولیبدنیت، گالن، اسفالریت، تتراهدريت و مگنتیت و کانیهای ثانویه (برونزاد) شامل کالکوسیت، کولیت، هیدروکسیدهای آهن، مالاکیت و آزوریت هستند. بر اساس بررسی با میکروسکوپ الکترونی روبشی گسیل میدانی (FE- SEM)، کانی‌های بورنیت موجود در توده‌های دیوریت تا گرانودیوریت پورفیری دارای Au، Ag و همچنین Pt و Ru هستند.

واژه‌های کلیدی: دوگان، ترود- چاه شیرین، مس- مولیبدن پورفیری، دگرسانی.

مقدمه

زیرپهنه یزد) است. ویژگی‌های ساختاری و زمین‌ساختی- رسوبی گزارش شده، باعث شکل‌گیری کانسارها و محیط فلززایی متفاوت گردیده است. در واقع، استان سمنان از جمله استان‌های مهم از نظر کانه‌زایی مس بوده که تشکیل آنها بیشتر در ارتباط با فعالیت‌های آتشفشانی- نفوذی است و اغلب در کمربند ترود -چاه شیرین دیده می‌شوند. ذخایر عمده معدنی تقریباً در راستای یک نوار شمال شرقی تا جنوب غربی گسترده شده‌اند [۱]. (شکل ۱) کمربند ترود-چاه شیرین با روند

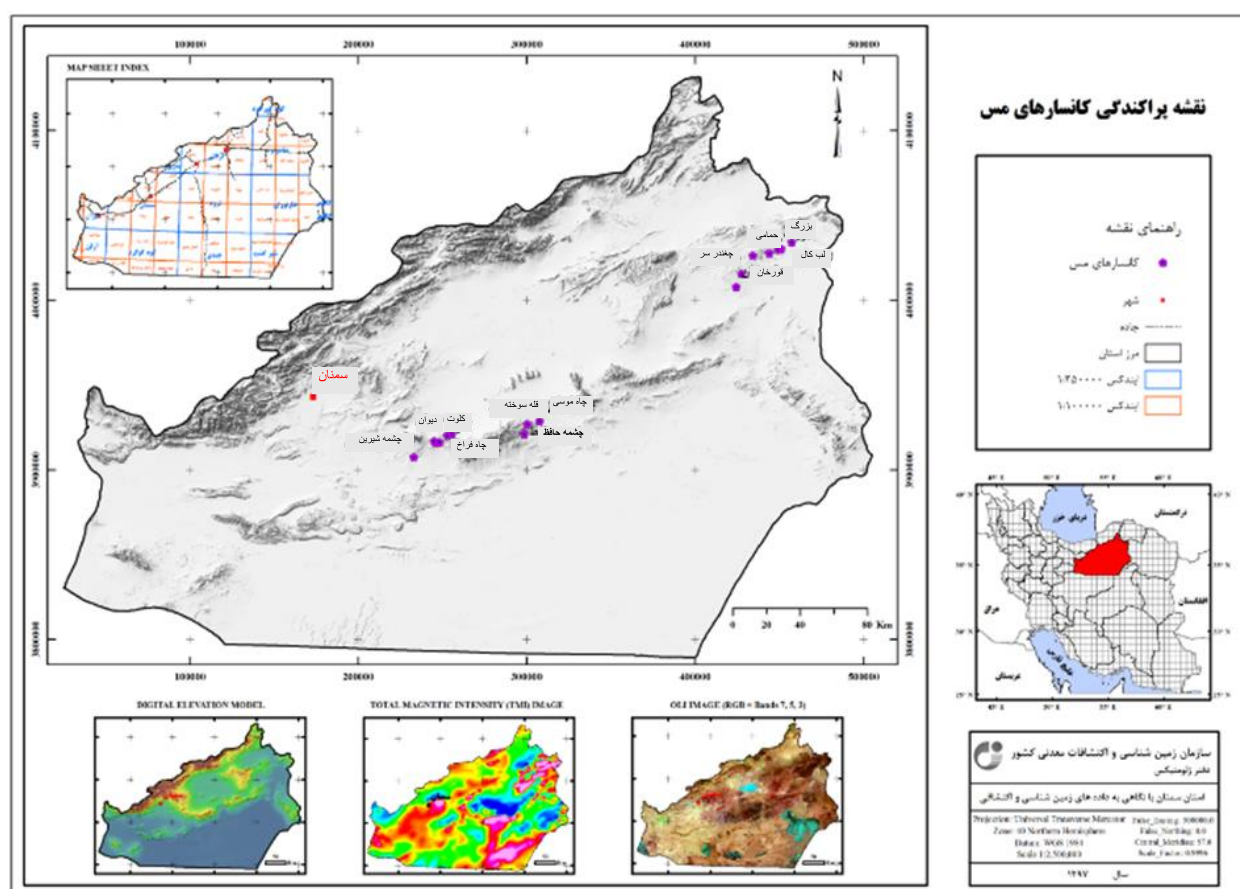
گستره معدنی دوگان در حاشیه شمالی کویر مرکزی ایران و در شمال غرب روستای ترود در طول‌های جغرافیایی $31^{\circ} 20' 00''$ تا $31^{\circ} 32' 00''$ شرقی و عرض‌های جغرافیایی $39^{\circ} 38' 50''$ تا $31^{\circ} 39' 50''$ شمالی، از توابع شهرستان شاهرود در استان سمنان واقع است. از دیدگاه ساختاری، استان سمنان از شمال به جنوب دربردارنده پهنه‌های ساختاری البرز مرکزی، البرز شرقی، ایران مرکزی (شامل سنگ‌های آذرین ترشیاری و

نویسنده مسئول، تلفن: ۰۴۱۳-۳۳۳۹۳۶۴۷، پست الکترونیکی: mr-hosseinzadeh@tabrizu.ac.ir



صفحه توران ممکن است که نقش مهمی در کانی‌سازی سولفیدی در این منطقه داشته باشد. نقش حرکت گسل‌های راستالغز نیز ممکن است که در فرآیند تشکیل کانسار مهم بوده باشد و سیال‌های کانسنگ‌ساز بیشتر خاستگاه ماگمایی-گرمایی دارند. بر پایه بررسی‌های پیشین انجام شده در این منطقه [۱۲]، گستره مورد بررسی یک کانسار مس - مولیبدن پورفیری بوده و فقط به یک توده‌ی شبه آتشفشانی میکرودیوریتی اشاره شده که دارای کانی‌سازی است. در پژوهشی جدیدتر [۱۳] ویژگی‌های سنگ‌شناسی توده‌های شبه آتشفشانی منطقه دوگان دربردارنده سه توده‌ی مجزا با ساختار دم در دم (Don in Dom Structure) و به ترتیب سنی از قدیم به جدید شامل کوارتز مونزونیت تا کوارتز مونزودیوریت پورفیری، دیوریت تا میکرودیوریت پورفیری و کوارتز دیوریت تا گرانودیوریت پورفیری، بررسی شده‌اند. در این پژوهش نیز بطور مشخص پهنه‌های دگرسانی و کانه‌زایی در سه توده‌ی شبه آتشفشانی پورفیری بر پایه شواهد صحرایی و میکروسکوپی بررسی شده است.

شمال شرقی، که در بخش مرکزی تا شرقی سامانه کوه‌های البرز واقع است، حدود ۳۰۰ کیلومتر مربع مساحت و تاریخچه پیچیده‌ای از نظر زمین ساختی، ماگمایی و چینه نگاری دارد [۲، ۳] و با فعالیت ماگمایی ناشی از فروورانش در زمان همگرایی آفریقا-عربستان و اوراسیا در ارتباط است [۴-۶]. این منطقه میزبان ذخایر معدنی متعدد و آثاری از رخدادهای معدنی و معادن متروکه، به ویژه رگه‌های فراگرمایی فلزهای گرانبها و پایه چون گندی (طلا-نقره $\pm$ سرب-روی)، ابوالحسنی (سرب-روی $\pm$ نقره $\pm$ طلا)، چشمه حافظ (سرب-روی-مس $\pm$ نقره)، قله کفتران (سرب-روی-مس $\pm$ نقره)، پوسیده (مس $\pm$ طلا)، دارستان (طلا-نقره $\pm$ مس) و چاه مسی (مس) است که با سنگ‌های آتشفشانی و شبه آتشفشانی میزبانی می‌شوند [۷-۹]. افزون بر این، انواع دیگر ذخایر در این منطقه شامل فیروزه و طلای پلاسری در باغو (طلا $\pm$ مس)، ذخایر آهن-اسکارن در چالو، و ذخایر کربناتی سرب-روی (نقره)، MVT، در رشم، خنجر و اتارو است [۷، ۱۰]. طالع فاضل و همکاران [۱۱] پیشنهاد کرده‌اند که فروورانش میکروبلیت لوت در زیر



شکل ۱ نقشه پراکندگی برخی از کانسارهای مس در استان سمنان [۲].

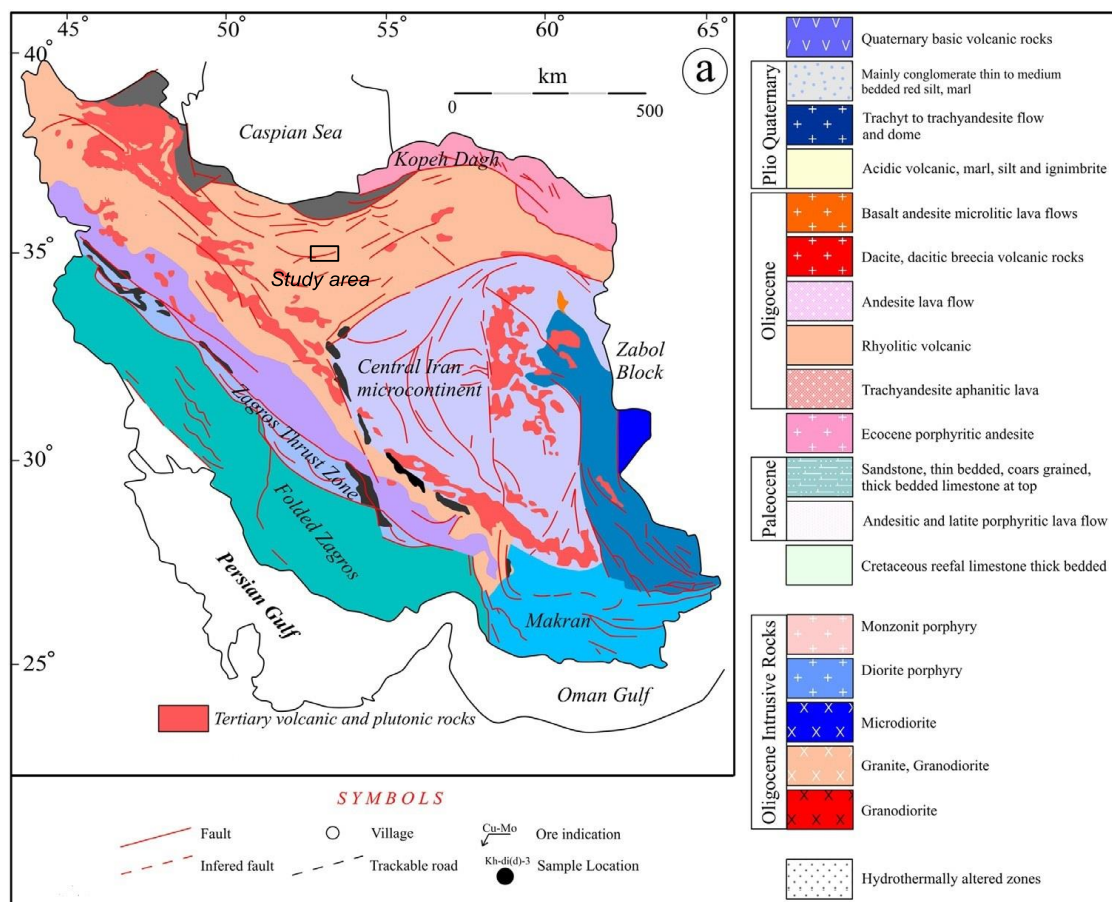
روش بررسی

در راستای دستیابی به اهداف این پژوهش، پس از بررسی‌های صحرایی و بازدید از رخنمون‌های گوناگون، از مغزه‌های حفاری بخش‌های مختلف منطقه نمونه‌برداری شد. از بین نمونه‌های برداشت شده، حدود ۲۰۰ مقطع نازک برای سنگ‌نگاری و حدود ۶۰ مقطع صیقلی برای کانه‌نگاری تهیه و در آزمایشگاه زمین‌شناسی اقتصادی دانشگاه تبریز بررسی میکروسکوپی شدند. در واقع بیشتر نتایج این پژوهش بر اساس بررسی‌های میکروسکوپی بر مغزه‌های حفاری بوده است. همچنین تعداد ۴ مقطع صیقلی نیز با میکروسکوپ الکترونی روبشی گسیل میدانی (FE- SEM) در آزمایشگاه مرکزی دانشگاه تبریز بررسی شدند. این میکروسکوپ الکترونی در دو حالت خلا بالا و خلا پایین کار می‌کند، قدرت تفکیک آن تا ۱ nm و قدرت بزرگنمایی آن تا ۱ میلیون برابر با اعمال ولتاژ ۳۰kv است و قابلیت تجزیه کیفی (نوع عناصر و فازهای تشکیل دهنده ماده) و کمی (مقدار عناصر) نمونه‌ها را دارد.

بحث و بررسی

زمین‌شناسی

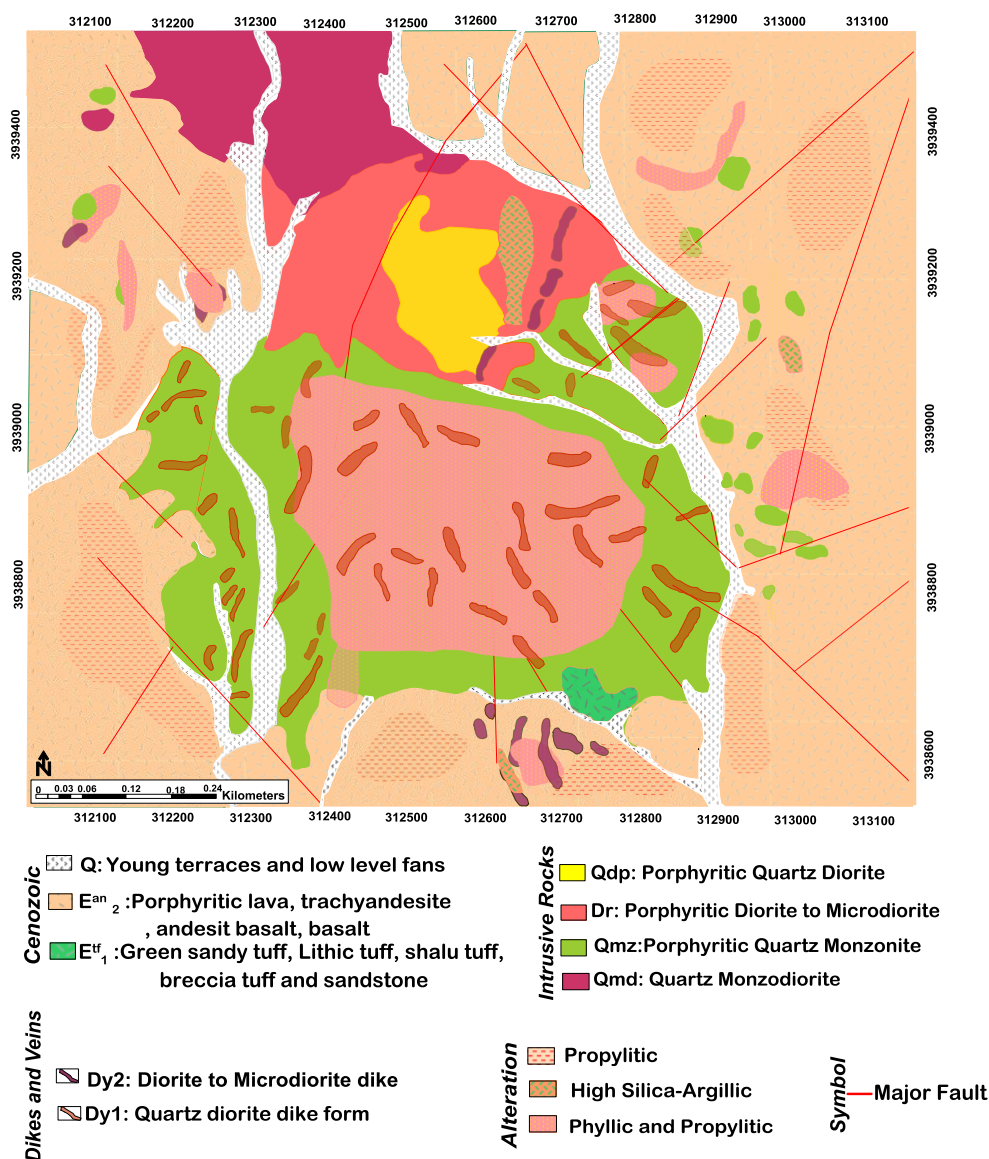
منطقه مورد بررسی از نظر زمین‌شناسی در ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ معلمان واقع است [۲]. ناحیه معلمان از نظر زمین‌شناسی ساختاری در پهنه ساختاری ایران مرکزی و در بخش شمالی آن قرار دارد [۱۴]. نیمه شمالی ورقه را رشته کوه ترو-چاه شیرین نامیده‌اند که میان دو گسل اصلی ترو و انجیلو واقع است و در کناره شمالی فروافتادگی کویر بزرگ جای دارد [۱]. در شکل ۲، موقعیت منطقه مورد بررسی که بخشی از محور ترو-چاه شیرین است و در پهنه ساختاری ایران مرکزی قرار دارد، نشان داده شده است [۱۵]. بر اساس بررسی‌های اخیر [۱۶]، کمر بند ترو-چاه شیرین در درجه اول شامل سنگ‌های آتشفشانی و آذرآواری ائوسن، همراه با توده‌های شبه آتشفشانی و نفوذی است. با این حال، رخنمون‌های پراکنده‌ای از سنگ‌های دگرگون‌شده پالئوزوئیک و مزوزوئیک نیز وجود دارد.



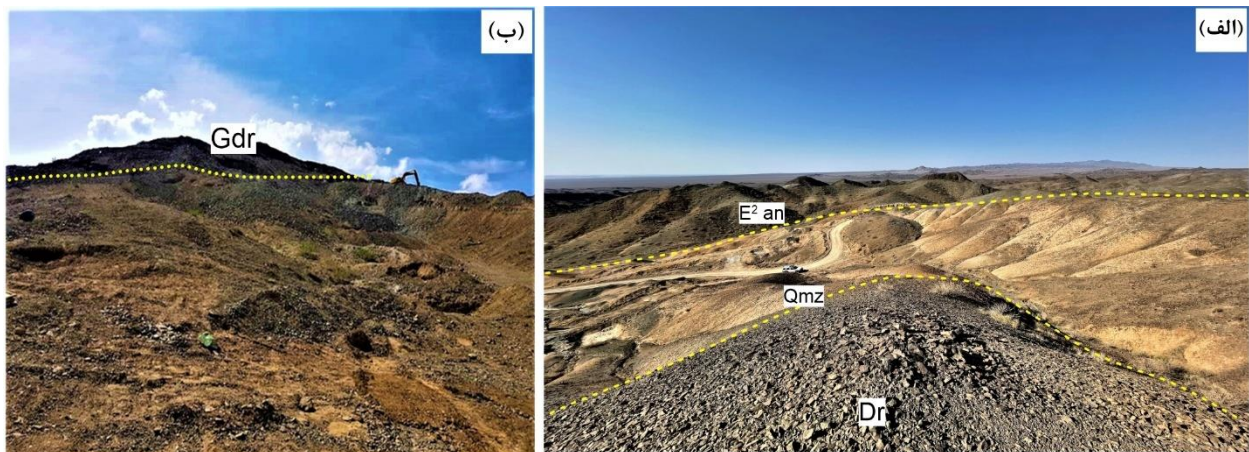
شکل ۲ نقشه پهنه‌های ساختاری ایران [۱۵] و موقعیت محور ترو-چاه شیرین که منطقه مورد بررسی در آن قرار دارد.

پورفیری (Dr)، به عنوان یکی دیگر از توده‌های موجود در بخش مرکزی منطقه با گسترش کمتر از توده کوارتز مونزونیت پورفیری برونزد دارد. این توده در بخش مرکزی، توده کوارتز مونزونیت تا مونزودیوریت پورفیری را قطع نموده و از این رو از آن جوانتر است، اما قطع شدن آن با دایکهای توده کوارتز دیوریت تا گرانودیوریت پورفیری نشان می‌دهد که از این توده قدیمتر است (شکل ۴ الف). واحد کوارتز دیوریت تا گرانودیوریت پورفیری (Qdr)، به عنوان جوانترین توده در بخش مرکزی منطقه با گسترش کمتر نسبت به دیگر توده‌های موجود برونزد دارد (شکل ۴ ب).

حجم اصلی واحدهای سنگی منطقه دوگان بر اساس نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰ دوگان (شکل ۳، [۱۷])، شامل گدازه‌های آندزیتی، سنگ‌های آذرآواری و توده‌های شبه آتشفشانی با ترکیب کوارتز مونزونیت تا کوارتز مونزودیوریت پورفیری، دیوریت تا میکرودیوریت پورفیری و کوارتز دیوریت تا گرانودیوریت پورفیری است. واحد کوارتز مونزونیت تا مونزودیوریت پورفیری (Qmz) بخش بزرگی از قسمت مرکزی در منطقه مورد بررسی را در بر گرفته و از آنجایی که این توده توسط توده‌های دیگر قطع شده است، نشان می‌دهد که از نظر سنی قدیمی‌تر از آنها بوده و خود این توده نیز درون واحدهای آئوسن تزریق شده است. واحد دیوریت تا میکرودیوریت



شکل ۳ نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰ کانسار دوگان [۱۷].



شکل ۴ تصاویر صحرایی واحدهای شبه آتشفشانی موجود در منطقه مورد بررسی: (الف) نمایی از توده کوارتز مونزونیت تا مونزودیوریت پورفیری و مرز آن با واحدهای ائوسن و توده‌ی دیوریت تا میکرودیوریت پورفیری (دید به سمت شمال شرق)، (ب) برخوردگاه توده‌ی کوارتز مونزونیت تا مونزودیوریت پورفیری با توده‌ی کوارتز دیوریت تا گرانودیوریت پورفیری (دید به سمت شمال غرب)، Qmz: واحد کوارتز مونزونیت تا مونزودیوریت پورفیری، Dr: واحد دیوریت تا میکرودیوریت پورفیری، Qdr: واحد کوارتز دیوریت تا گرانودیوریت پورفیری.

سنگ‌نگاری توده‌های شبه آتشفشانی

توده‌ی کوارتز دیوریت تا گرانودیوریت پورفیری (Qdr) دربردارنده کانی‌های اصلی پلاژیوکلاز (۶۰-۵۵٪)، فلدسپار پتاسیم (۱۵-۱۰٪)، کوارتز (۲۰-۱۵٪) و کانی‌های فرعی (۱۰-۵٪) شامل زیرکن و آپاتیت است. این کانی‌ها در خمیره ریزبلوری از کوارتز و به احتمال بسیار فلدسپار قرار دارند و در واقع بافت سنگ پورفیری با خمیره ریزبلور است. درشت بلور-های شکلدار تا نیمه شکلدار پلاژیوکلاز بیشتر دارای منطقه-بندی ترکیبی هستند و کمی به سریسیت دگرسان شده‌اند، ولی در حالت کلی می‌توان گفت که دارای شدت دگرسانی کمتری نسبت به توده‌های دیگر هستند (شکل ۵ ب). بلورهای آمفیبول بصورت نیمه شکلدار و کشیده هستند و در برخی از مقاطع، بصورت تقریباً سالم دیده می‌شوند و در برخی مقاطع دیگر نیز به کلریت دگرسان شده‌اند (شکل ۵ ج) [۱۳].

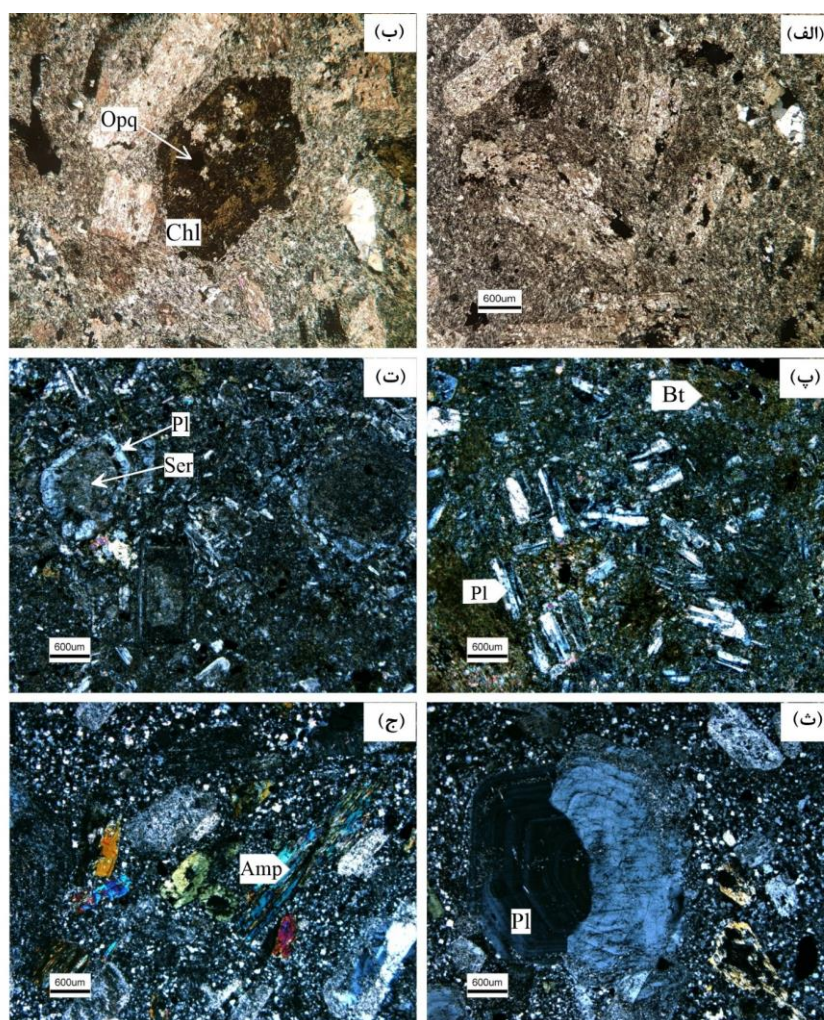
زمین شیمی توده‌های شبه آتشفشانی

بر اساس نمودار SiO_2 نسبت به Zr/TiO [۱۸]، این توده‌های شبه آتشفشانی دارای ترکیب سنگ‌شناسی گرانودیوریت، تونالیت و دیوریت هستند (شکل ۶ الف). گفتنی است که نامگذاری توده‌های شبه آتشفشانی منطقه بر اساس بررسی‌های سنگ‌نگاری انجام شده است و نتایج سنگ‌نگاری با نمودارهای زمین‌شیمیایی اغلب همخوانی ندارد. در نمودار A/NK نسبت به A/CNK (درجه اشباع آلومین) [۱۹]، توده‌های شبه آتشفشانی منطقه ویژگی متآلومین و پراآلومین نشان می‌دهند (شکل ۶ ب).

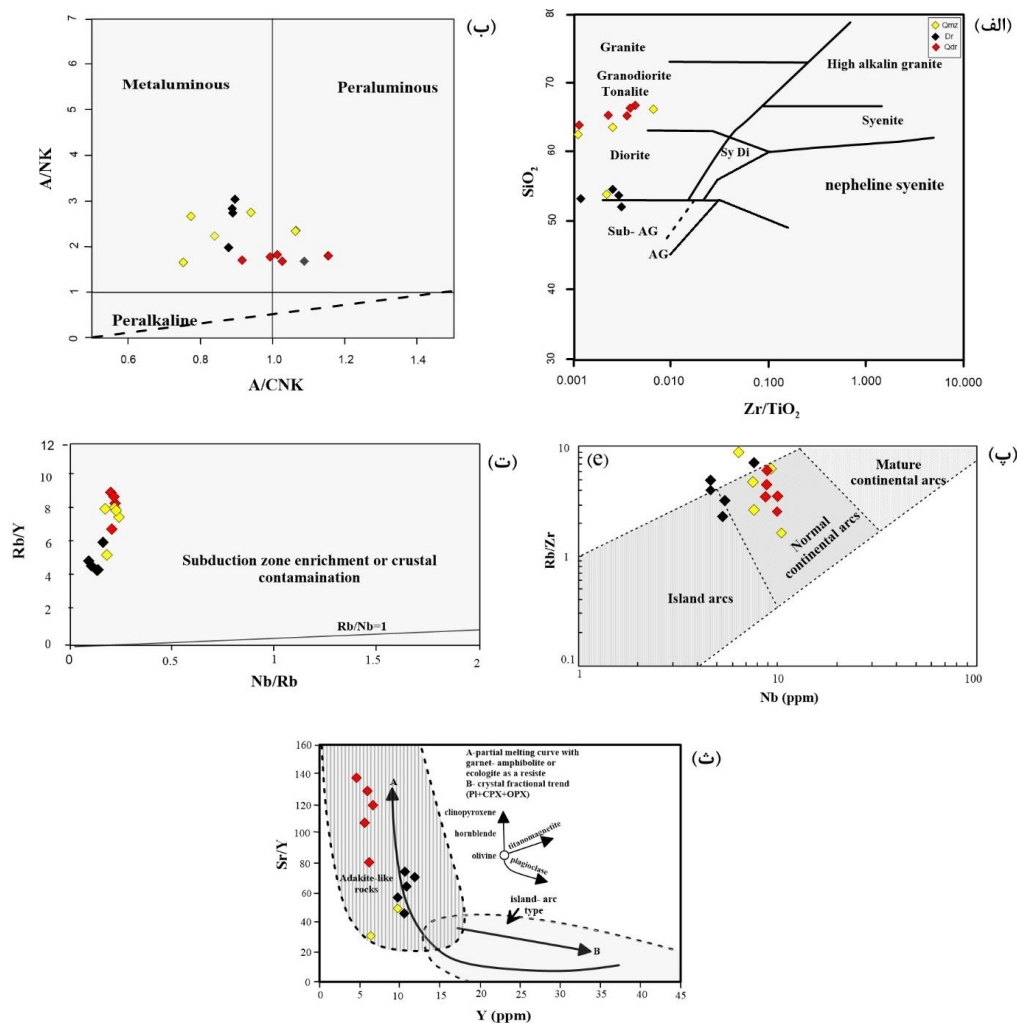
بر اساس بررسی‌های میکروسکوپی، توده‌ی کوارتز مونزونیت تا کوارتز مونزودیوریت پورفیری (Qmz) دربردارنده کانی‌های اصلی پلاژیوکلاز (۴۵-۴۰٪)، فلدسپار پتاسیم (۳۵-۳۰٪)، کوارتز (۱۵-۱۰٪) و کانی‌های فرعی (۱۰-۵٪) شامل آمفیبول، بیوتیت، آپاتیت، زیرکن و کانی‌های کدر بوده و بافت اصلی آن پورفیری با خمیره ریزبلور است (شکل ۵ الف). پلاژیوکلازها و کانی‌های فرومنیزین (آمفیبول و بیوتیت) به شدت دگرسان شده و بیشتر به کلریت و اکسیدهای آهن تبدیل شده‌اند (شکل ۵ ب). بر اساس بررسی‌ها، مغزه‌های حفاری این توده با دگرسانی غالب فلیک ضعیف تا متوسط - پروپلیتی متوسط تا شدید در اعماق کم مشخص می‌شوند و با افزایش عمق از شدت دگرسانی پروپلیتی کم شده و دگرسانی فلیک شدت می‌یابد. توده‌ی دیوریت تا میکرودیوریت پورفیری (Dr)، دربردارنده کانی‌های اصلی پلاژیوکلاز (۸۰-۷۵٪)، فلدسپار قلیایی (۵-۰٪)، آمفیبول (۱۵-۱۰٪) و کانی‌های فرعی (۱۰-۵٪) شامل کوارتز، آپاتیت، زیرکن و کانی‌های کدر است. بافت سنگ ریزسنگی پورفیری است و درشت بلورهای نیمه شکلدار پلاژیوکلاز دارای منطقه‌بندی ترکیبی در خمیره ریزسنگی شامل پلاژیوکلاز و کمی کوارتز به همراه انبوهه‌هایی از بیوتیت‌های ریز و پولکی ثانویه قرار دارند (شکل ۵ پ). همچنین درشت بلورهای پلاژیوکلاز به سریسیت و کانی‌های رسی دگرسان شده‌اند (شکل ۵ ت).

در توده‌های شبه آتشفشانی منطقه مورد بررسی عبارت است از: توده‌ی کوارتزمونزونیت تا مونزودیوریت پورفیری ۱۴/۱۳-۵۰/۲۸ (میانگین ۲۸/۱۳)، توده‌ی دیوریت تا میکرودیوریت پورفیری ۴۷/۷۷-۷۴/۴۹ (میانگین ۶۳/۲۶)، و توده کوارتزدیوریت تا گرانودیوریت پورفیری ۵۸/۵۱-۱۳۷/۰۳ (میانگین ۱۱۵/۵۲). از آنجا که برخی از نمونه‌های توده‌ی کوارتزمونزونیت تا مونزودیوریت پورفیری دارای مقادیر Sr/Y کمتر هستند (میانگین ۲۸/۱۳)، این نمونه‌ها را می‌توان در گستره آندزیت آهکی قلیایی قرار داد. توده‌ی کوارتزدیوریت تا گرانودیوریت پورفیری با نسبت بالای Sr/Y (میانگین ۱۱۵/۵۲) پتانسیل کانی‌سازی بالایی دارد [۱۳].

برای بررسی محیط زمین ساختی توده‌های شبه آتشفشانی منطقه از نمودار نمودار زمین ساختی ماگمایی Rb/Zr نسبت به Nb [۲۰] استفاده شد. در این نمودار، همه نمونه‌ها در گستره کرانه فعال قاره‌ای (VAG) و قوس قاره‌ای عادی قرار می‌گیرند (شکل ۶ پ). برای بررسی نقش آلودگی پوسته‌ای در توده‌های شبه آتشفشانی منطقه از نمودار Rb/Nb نسبت به Y/Rb استفاده شد (شکل ۶ ت). روندهای عمودی در این نمودار در اثر غنی‌شدگی در پهنه فروانش یا آلودگی پوسته‌ای به وجود می‌آید [۲۱]. همچنین بر پایه نمودار Y نسبت به Sr/Y [۲۲]، سنگ‌های شبه آتشفشانی گستره معدنی دوگان دارای شاخص شبه آداکیتی هستند (شکل ۶ ج). نسبت Sr/Y



شکل ۵ (الف-ب) تصاویر میکروسکوپی از توده‌ی کوارتزمونزونیت تا کوارتز مونزودیوریت پورفیری، به ترتیب درشت بلور پلاژیوکلاز دگرسان شده به سریسیت و درشت بلور شکلدار آمفیبول دگرسان شده به کلریت، پ-ت) تصاویر میکروسکوپی از توده دیوریت تا میکرودیوریت پورفیری، به ترتیب بافت ریزسنگی پورفیری و دگرسانی درشت بلورهای شکلدار تا نیمه شکلدار پلاژیوکلاز از بخش مرکزی به سریسیت، ث-ج) تصاویر میکروسکوپی از توده‌ی کوارتزدیوریت تا گرانودیوریت پورفیری، به ترتیب درشت بلور شکلدار تا نیمه شکلدار پلاژیوکلاز با منطقه‌بندی ترکیبی و بلورهای شکلدار و کشیده آمفیبول (همه تصاویر در نور قطبیده متقاطع، XPL، ثبت شده‌اند).



شکل ۶ نمودارهای زمین‌شیمیایی مربوط به توده‌های شبه آتشفشانی کانسار دوگان. الف) نمودار Zr/TiO_2 نسبت به SiO_2 [۱۸]، ب) نمودار A/NK نسبت به $(O_2O+K_2)/(CaO+Na_2O+Al_2O_3)$ [۱۹]، پ) نمودار زمین‌ساختی‌ماگمایی Rb/Zr نسبت به Nb [۲۰]، ت) نمودار Nb/Rb نسبت به Rb/Y [۲۱]، ث) نمودار Sr/Y نسبت به Y [۲۲].

دگرسانی

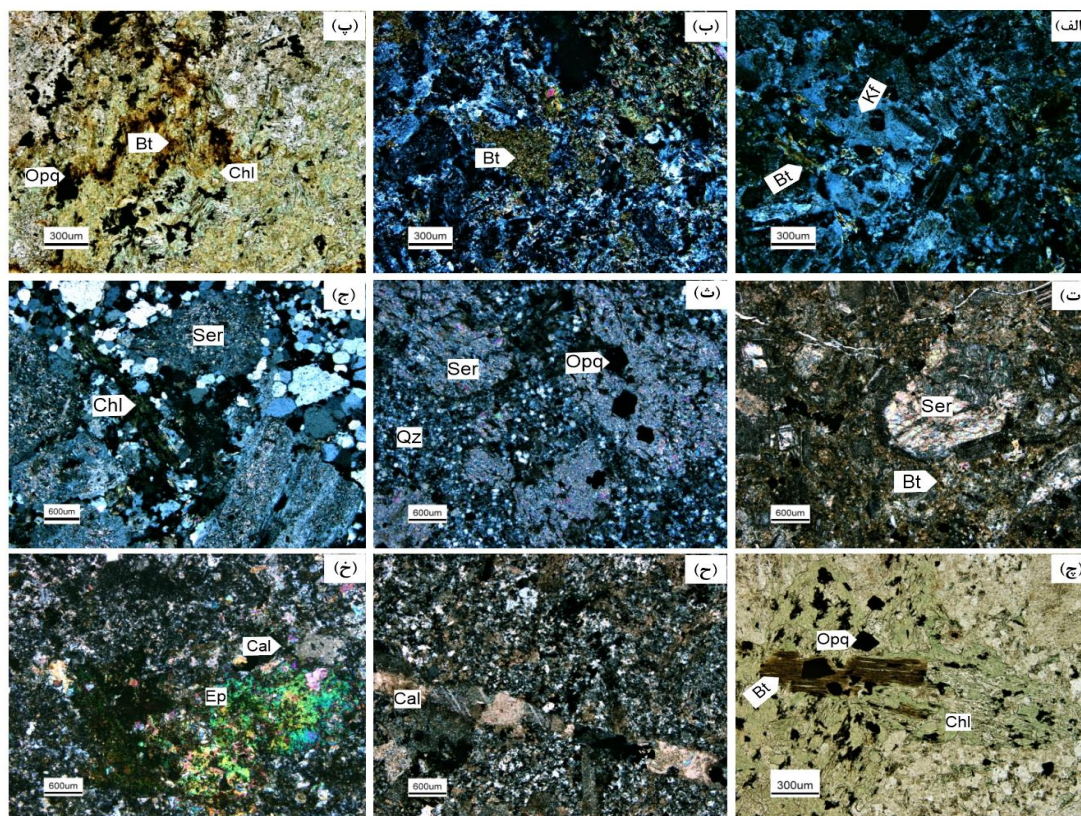
کاهش فشار و واکنش با سنگ‌ها ایجاد می‌شوند. دگرسانی ماگمایی - گرمایی با منطقه‌بندی کانی‌های سولفیدی غنی از سولفید مس در پهنه کانه‌دار به پهنه‌های بالایی غنی از پیریت مشخص می‌شود. بطور کلی ۴ نوع دگرسانی شامل پتاسیمی، فیلک، آرژلیک و پروپیلیتی و همچنین دگرسانی‌های حدواسط آنها بصورت انتقالی در منطقه دوگان قابل تشخیص هستند که نتایج سنگ‌نگاری آنها در ادامه بیان می‌شود:

دگرسانی پتاسیمی: گسترش دگرسانی پتاسیمی در توده دیوریت تا میکرودیوریت پورفیری است و کانی‌های شاخص موجود در آن شامل فلدسپار پتاسیم، بیوتیت‌های ثانویه، مگنتیت، کالکوپیریت، پیریت و بورنیت هستند. فلدسپار پتاسیم در این پهنه در اثر دگرسانی پلاژیوکلازها تشکیل

اصلی‌ترین روش تشخیص و مدل‌سازی دگرسانی‌ها، بررسی‌های سنگ‌نگاری و کانی‌نگاری است، و به بیان دیگر، بر پایه شواهد مستقیم و بر اساس شناسایی کانی‌های شاخص، دگرسانی‌ها مشخص و تفکیک می‌شوند. در واقع، تفاوت دگرسانی‌ها بر اساس نوع کانی‌های تشکیل دهنده و تغییر عیار و درصد عناصر مختلف درون آنهاست. طی عملیات حفاری اکتشافی با بررسی نوع کانی‌های تشکیل دهنده مغزه‌های اکتشافی، می‌توان مشخص کرد که هر گمانه در چه بخشی از سامانه کانی‌زایی مس پورفیری قرار دارد. سنگ‌های دگرسان شده گرمایی، سولفیدها و رگه‌ها در کانسارهای مس پورفیری در نتیجه صعود سیال‌های ماگمایی - گرمایی از بخش‌های عمیق‌تر، سرد شدن،

کمتری در توده‌ی دیوریت تا گرانودیوریت پورفیری و گسترش وسیعی در توده کوارتز مونزونیت تا مونزودیوریت پورفیری نسبت به سایر توده‌ها دارد و انتقال تدریجی از دگرسانی پتاسیمی به فلیک با از بین رفتن بخشی دگرسانی پتاسیمی اولیه با سریسیتی شدن کانی‌های اولیه از جمله پلاژیوکلاز و فلدسپار پتاسیم و در نتیجه افزایش مقدار سریسیت مشخص می‌شود (شکل ۷ ت). سریسیت بصورت پولک‌های ریزدانه همراه با کوارتز ریز تا متوسط و پیریت بصورت پراکنده تشکیل دهنده‌ی اصلی این نوع دگرسانی در منطقه مورد بررسی هستند (شکل ۷ ث). در برخی از مقاطع نیز، سریسیت و کلریت به طور همزمان تشکیل شده‌اند که نشان‌دهنده دگرسانی فلیک- پروپلیتی است (شکل ۷ ج).

شده است (شکل ۷ الف). بیوتیت‌ها بیشتر به صورت گرمایی و به شکل بیوتیت‌های ثانویه ریزبلور و پولکی هستند و از دگرسانی بیوتیت‌های اولیه یا ماگمایی شکل گرفته‌اند که از سیماهای رایج پهنه دگرسانی پتاسیمی این کانسار است و حجم بیشتر مقاطع را شامل می‌شود (شکل ۷ ب). همچنین نمونه‌های دگرسانی پتاسیمی این کانسار، جانشینی بیوتیت‌های ماگمایی و گرمایی با کلریت بسیار دیده می‌شود (شکل ۷ پ). از سایر ویژگی‌های بارز پهنه پتاسیمی در این کانسار، بافت داربستی بوده که ناشی از نفوذ نسل‌های مختلف رگچه‌های سولفید، کوارتز و کوارتز-سولفید در پی خردشدگی شدید در پهنه پتاسیمی است. دگرسانی فلیک: دگرسانی فلیک در این کانسار گسترش

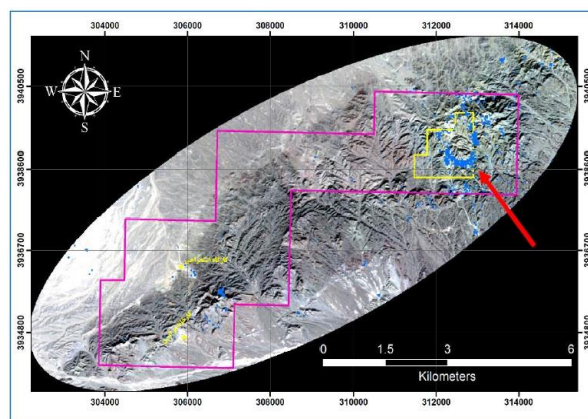


شکل ۷ الف-ب-پ تصاویری از مقاطع میکروسکوپی مربوط به پهنه پتاسیمی در توده‌ی کوارتز دیوریت تا میکرودیوریت پورفیری، به ترتیب فلدسپار پتاسیم درشت بلور به همراه بیوتیت (xpl)، انبوهه‌هایی از پولک‌های ریز بیوتیت‌های ثانویه (xpl) و دگرسانی بیوتیت‌ها به کلریت و آزادشدن آهن (در نور قطبیده صفحه‌ای، ppl)، ت-ث-ج تصاویری از مقاطع میکروسکوپی مربوط به پهنه فلیک در توده‌ی کوارتز مونزونیت تا مونزودیوریت پورفیری، به ترتیب انتقال تدریجی از پهنه پتاسیمی به فلیک با حضور کانی‌های بیوتیت‌های ثانویه و سریسیت (xpl)، سریسیتی شدن بلورهای فلدسپار پتاسیم همراه با کوارتز و کانی‌های کدر (xpl) و کانی‌های سریسیت به همراه کلریت (دگرسانی حدواسط فلیک - پروپلیتی، xpl). چ-ح-خ تصاویری از مقاطع میکروسکوپی مربوط به پهنه پروپلیتی در توده‌ی کوارتز مونزونیت تا مونزودیوریت پورفیری و کوارتز دیوریت تا گرانودیوریت پورفیری، به ترتیب جانشینی کامل کانی‌های مافیک اولیه به کلریت و آزادشدن کانی‌های آهن‌دار (ppl)، رگچه‌ی کلسیتی در پهنه پروپلیتی (xpl) و بلورهای بی‌شکل و درشت اپیدوت در متن سنگ (xpl).

راستای تورق‌های بیوتیت آشکارا قابل تشخیص بوده (شکل ۷ چ) و حجم کانی کلریت از سایر کانی‌های این پهنه بیشتر است، بطوریکه می‌توان این پهنه را پهنه کلریتی نیز نامید. دگرسانی کلریتی در واقع حالتی از دگرسانی پروپیلیتی است که به دلیل مقدار بالای این کانی به این نام خوانده می‌شود. کلسیت در این پهنه در اثر دگرسانی بلورهای آمفیبول ایجاد شده است و در برخی بخش‌های این دگرسانی، رگه‌هایی از کلسیت، نیز دیده می‌شود (شکل ۷ ح). اپیدوت بصورت بلورهای درشت و بی‌شکل با فراوانی کمتر از سایر کانی‌های شاخص دگرسانی پروپیلیتی در این پهنه حضور دارد (شکل ۷ ج). از سیماهای مشخص این پهنه، گسترش نداشتن بافت داربستی و رگه-رگچه‌های کوارتز و کوارتز - سولفید بوده که ناشی از دوری از مرکز سامانه پورفیری و اثرپذیری کم از پدیده‌هایی چون جوشش، خردشدگی و کانی‌سازی است. اغلب در سامانه گرمابی کانسارهای مس پورفیری، دگرسانی‌های کلریتی و پروپیلیتی به فاصله دورتر از توده آذرین درونی مادر و به ترتیب، در ژرفای کم و در بخش‌های ژرف رخ می‌دهند.

دگرسانی آرژیلیک: یکی از مهم‌ترین دگرسانی‌های مربوط به سامانه‌های پورفیری، دگرسانی آرژیلیک است که بر اساس مدل طرحوار سامانه‌های کانی‌سازی پورفیری، در فاصله‌ای بین دو دگرسانی فیلیک و پروپیلیتی قرار دارد. شناسایی این دگرسانی، به‌ویژه در بررسی‌های زمین‌شناسی، از سایر دگرسانی‌ها بسیار آسان‌تر است، از این رو، در بررسی‌های دورسنجی برای شناسایی این پهنه از طیف این کانی‌ها استفاده می‌گردد. در منطقه مورد نظر نیز از بارزسازی کانی‌های رسی بر تصویر سنتینل استفاده شد (شکل ۸). این دگرسانی در منطقه مورد بررسی گسترش بیشتری دارد (شکل ۹).

دگرسانی پروپیلیتی: دگرسانی پروپیلیتی در منطقه مورد بررسی در توده‌های دیوریت تا گرانودیوریت پورفیری و کوارتزمونزونیت تا مونزودیوریت پورفیری با جانشینی توسط کانی‌های مافیک اولیه (بیوتیت و آمفیبول) به‌طور بخشی یا کامل به کلریت و کلسیت مشخص می‌شود. کلریت در مقاطع میکروسکوپی به رنگ سبز دیده می‌شود و گاهی شدت دگرسانی و جانشینی چنان زیاد است که تشخیص کانی اولیه ممکن نیست ولی در برخی از مقاطع، جانشینی کلریت در



شکل ۸ نتایج بررسی و بارزسازی کانی‌های رسی بر روی تصویر سنتینل در کل منطقه (پیکسل‌های آبی نشان دهنده احتمال حضور کانی‌های رسی هستند).



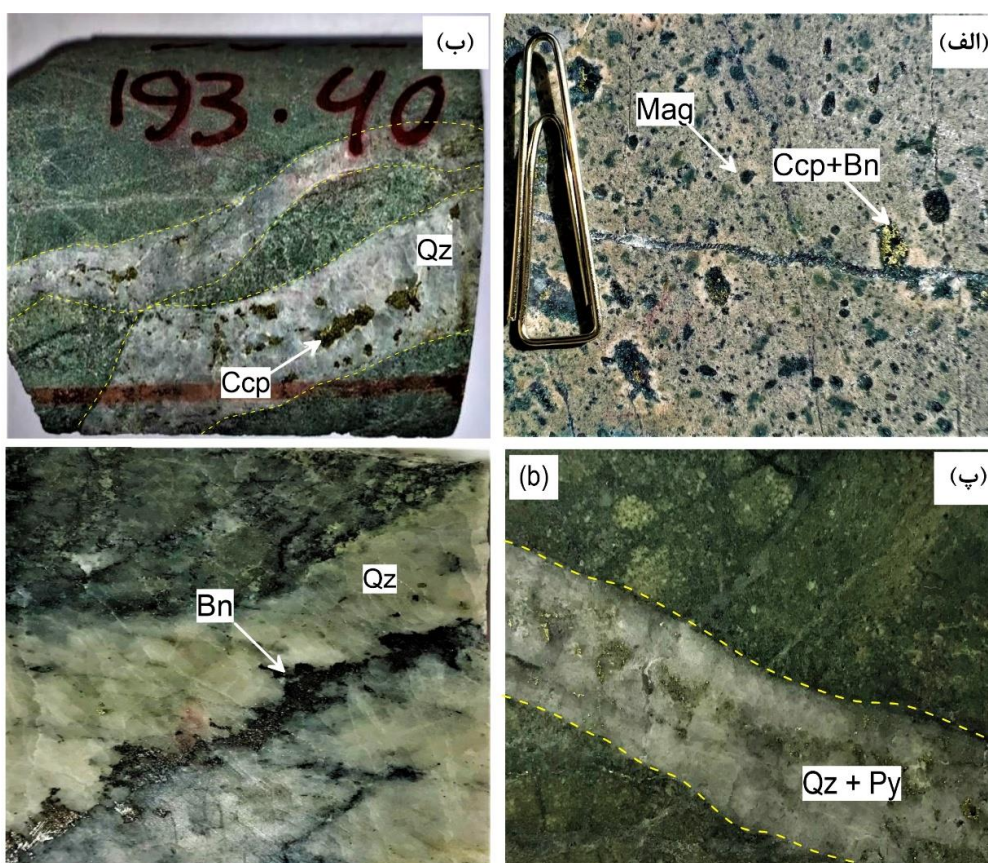
شکل ۹ تصویر صحرایی گسترش پهنه آرژیلیکی در مرکز منطقه مورد بررسی.

کانه‌زایی

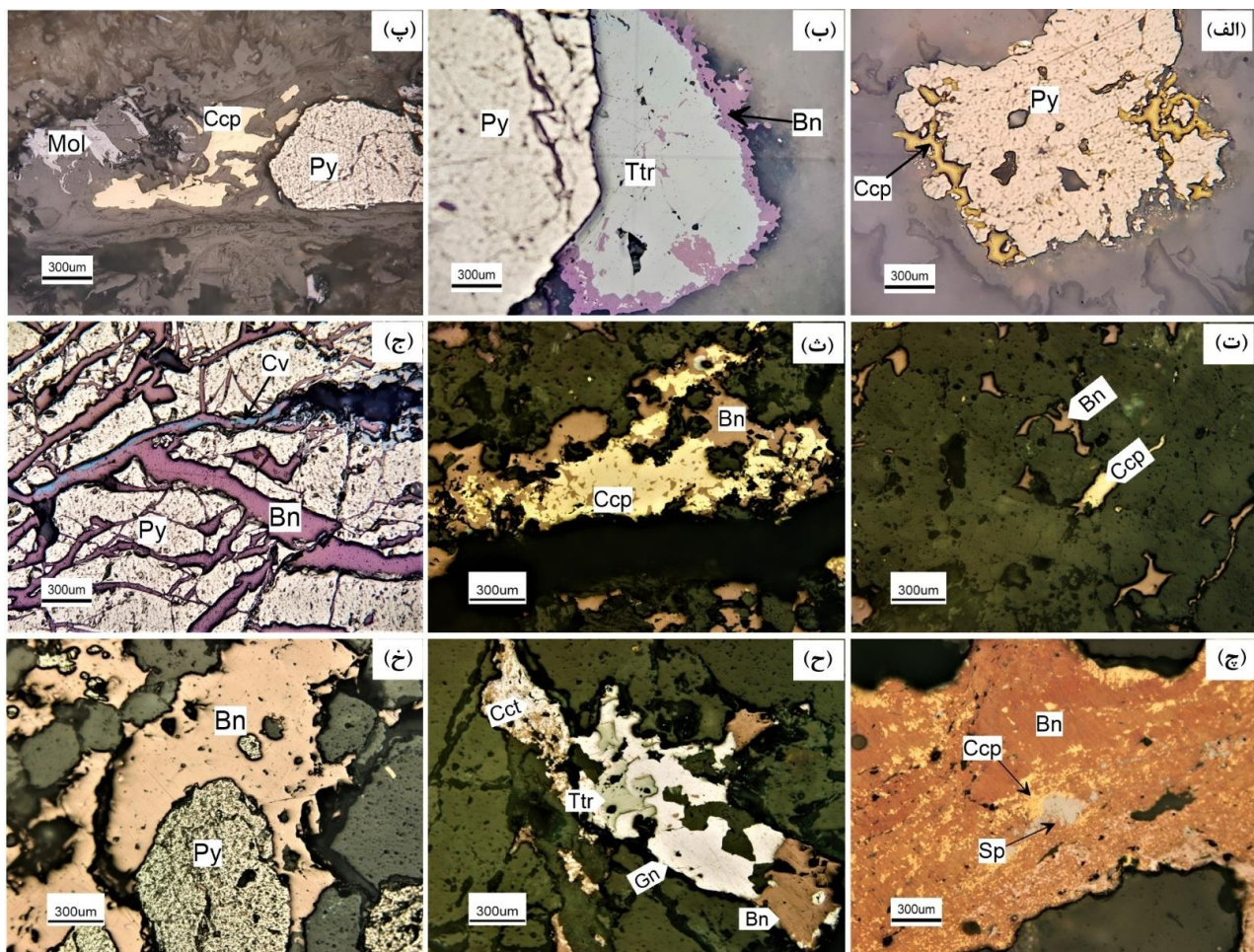
کانه‌زایی در این کانسار بصورت رگه‌ای- رگچه‌ای در رگه‌های سولفیدی، کوارتز- سولفیدی و همچنین افشان در متن سنگ رخ داده است (شکل ۱۰). هر سه توده شبه آتشفشانی در منطقه و همچنین دایک‌های منشعب از آنها دارای کان‌زایی بوده و کانی‌های فلزی مهم شامل کانی‌های اولیه (درونزاد) چون پیریت، کالکوپیریت، بورنیت، گالن، اسفالریت، تتراندريت، مولیبدنیت، مگنتیت و کانی‌های ثانویه (برونزاد) شامل کالکوسیت، کوولیت، هیدروکسیدهای آهن، مالاکیت و آزوریت هستند. کان‌زایی در هر یک از توده‌ها در ادامه توصیف می‌شود. توده‌ی کوارتز-مونزونیت تا مونزودیوریت پورفیری: کان‌زایی در این توده نسبت به توده‌های دیگر گسترش و اهمیت کمتری دارد و اغلب همراه با دگرسانی فلیک شدید- پروپلیتی

متوسط رخ داده و شامل کانی‌سازی درونزاد سولفیدی به صورت افشان است. کانی‌سازی سولفیدی شامل بلورهای شکلدار تا نیمه شکلدار و بی‌شکل پیریت است که از لبه با کالکوپیریت، تتراندريت و سپس بورنیت جانشین شده‌اند (شکل‌های ۱۱ الف-ب). کان‌زایی مولیبدنیت نیز بصورت بلورهای ریز و الیافی و همچنین همراه با کالکوپیریت به صورت جانشینی پیریت رخ داده است (شکل ۱۱ پ).

توده‌ی دیوریت تا میکرودیوریت پورفیری: کانی‌سازی در این توده بیشتر شامل کانی‌سازی درونزاد سولفیدی و اکسیدی به صورت افشان و رگه- رگچه‌ای در پهنه‌های دگرسانی پتاسیمی است. حجم عمده کانی‌سازی سولفیدی مربوط به کالکوپیریت و بورنیت است و به صورت افشان و رگه‌ای همراه با رگه‌های سیلیسی قطع کننده سنگ دیده می‌شوند (شکل‌های ۱۱ ت-ث).



شکل ۱۰ تصاویر نمونه‌های دستی مربوط به کان‌زایی افشان و رگه-رگچه‌ای در توده‌های شبه آتشفشانی منطقه مورد بررسی: الف) کان‌زایی افشان در توده‌ی دیوریت تا میکرودیوریت پورفیری، ب- پ-ت) کان‌زایی رگه‌ای-رگچه‌ای در توده‌ی کوارتز دیوریت تا گرانودیوریت پورفیری.



شکل ۱۱ الف- ب- پ) تصاویر میکروسکوپی مربوط به کانه‌زایی توده‌ی کوارتز-مونزونیت تا مونزودیوریت پورفیری کانسار دوگان به ترتیب بلور شکلدار و با خوردگی غربالی پیریت که از لبه با کالکوپیریت جانشین شده است، جانشینی بلور درشت پیریت با تترائدریت و سپس بورنیت و کانی‌سازی رگه‌ای پیریت که با کالکوپیریت و مولیبدنیت جانشین شده است. ت- ث- ج) تصاویر میکروسکوپی مربوط به کانه‌زایی در توده‌ی دیوریت تا میکرودیوریت پورفیری، به ترتیب کانی‌سازی افشان کالکوپیریت و بورنیت، کانی‌سازی رگه‌ای کالکوپیریت و جانشینی آن با بورنیت و جانشینی پیریت با بورنیت و سپس کوولیت. چ- ح- خ) تصاویر میکروسکوپی مربوط به کانه‌زایی در توده‌ی کوارتز دیوریت تا گرانودیوریت پورفیری، به ترتیب کانی‌سازی رگه‌ای بورنیت و جانشینی آن با کالکوپیریت و سپس اسفالریت، کانی‌سازی رگه‌ای بورنیت و جانشینی آن با گالن، تترائدریت و سپس کالکوسیت، و جانشینی مشخص بورنیت با پیریت.

توجه به دمای بالای تشکیل مگنتیت، وجود این میانبرهای سولفیدی می‌تواند ناشی از پدیده هضم یا تشکیل مگنتیت پهنه پتاسیمی باشد که هر دو مورد می‌تواند برای تشکیل مگنتیت‌های مورد بررسی صادق باشد (شکل ۱۲ ت).

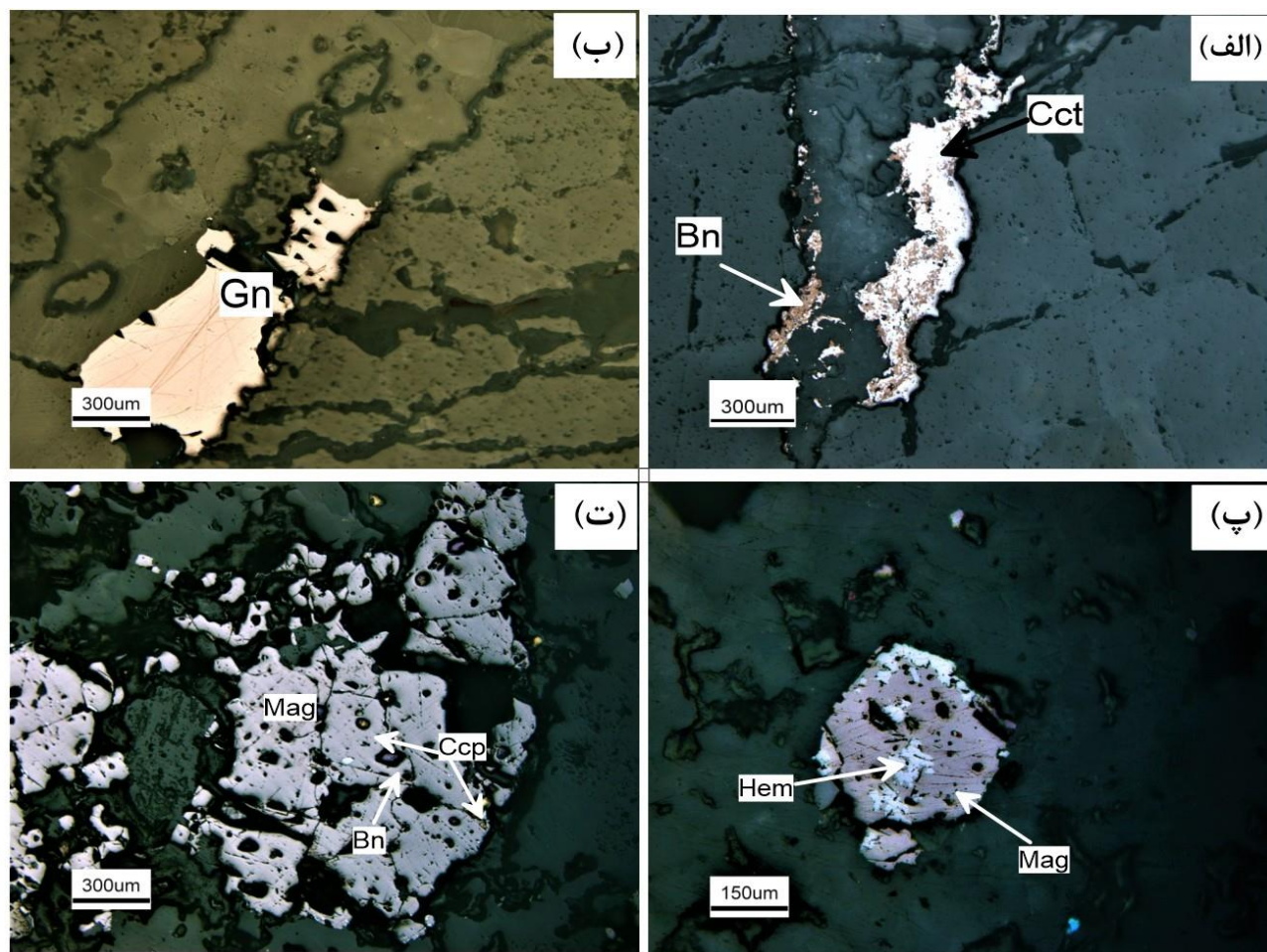
توده‌ی کوارتز دیوریت تا گرانودیوریت پورفیری: کانی‌سازی در این توده و دایک‌های منشعب از آن از نظر تنوع و میزان کانه‌زایی اهمیت بیشتری نسبت به سایر توده‌ها دارد و شامل کانی‌سازی درونزاد و برونزاد سولفیدی و درونزاد اکسیدی به

همچنین در رگه‌های سولفیدی، کانی‌سازی پیریت و جانشینی آن توسط بورنیت رخ داده و در اثر فرایندهای برونزایی نیز کوولیت از لبه جانشین بورنیت شده است (شکل ۱۱ ج). در واقع این کانی‌سازی مربوط به پهنه درونزاد با همپوشی جزئی برونزاد است. کانی‌سازی اکسیدی شامل بلورهای شکلدار تا نیمه شکلدار و بی‌شکل مگنتیت ماریتیتی شده بوده که به صورت افشان رخ داده است (شکل ۱۲ پ) و در بلورهای مگنتیت میانبرهایی از کالکوپیریت و بورنیت دیده می‌شوند. با

بورنیت تشکیل شده است (شکل ۱۲ الف). در برخی موارد نیز گالن‌جانشین سولفیدهای مس در رگه‌ها شده است (شکل ۱۲ ب). در رابطه با تشکیل گالن و اسفالریت می‌توان گفت که چون در منطقه مورد بررسی سه توده‌ی شبه آتشفشانی مجزای پورفیری با فاصله‌ی زمانی به درون هم تزریق شده‌اند، گالن و اسفالریت می‌توانند مربوط به فازهای تاخیری توده‌های متاخر باشند.

مالاکیت و آزوریت: کانه‌زایی مس در رخنمون‌ها نیز بصورت مالاکیت و آزوریت است (شکل ۱۳). در شکل ۱۴، توالی هم‌بزرایی کانی‌های فلزی تشکیل شده در منطقه دوگان نشان داده شده است.

صورت افشان و رگه-رگچه‌ای است. کانی‌سازی افشان شامل بلورهای نیمه‌شکلدار کالکوپیریت و بورنیت است. کانی‌سازی رگه‌ای نیز بیشتر شامل بلورهای نیمه‌شکلدار تا بی‌شکل بورنیت است که جانشینی‌هایی با کالکوپیریت و اسفالریت (شکل ۱۱ چ) و کالکوسیت، گالن و تتراآندریت و همچنین (شکل ۱۱ ح) نشان می‌دهد. همچنین جانشینی مشخص بورنیت با پیریت نیز دیده شده است (شکل ۱۱ خ). کانی‌سازی اکسیدی درون‌زاد به صورت افشان شامل بلورهای بی‌شکل مگنتیت ماریتی شده است. کالکوسیت مهمترین کانی سولفیدی برون‌زاد در منطقه بوده که در این توده تشکیل شده و دارای درصد پایینتری نسبت به کانی‌های سولفیدی درون‌زاد است و بیشتر از جانشینی



شکل ۱۲ الف-ب) تصاویر میکروسکوپی مربوط به کانه‌زایی در توده‌ی کوارتز دیوریت تا گرانودیوریت پورفیری، به ترتیب کانی‌سازی رگه‌ای کالکوسیت در اثر جانشینی با بورنیت و کانی‌سازی رگه‌ای گالن. پ-ت) تصاویر میکروسکوپی مربوط به کانه‌زایی مگنتیت در توده‌ی دیوریت تا میکرودیوریت پورفیری، به ترتیب مگنتیت ماریتی شده و میان‌بازهای بسیار ریز کالکوپیریت و بورنیت در مگنتیت.



شکل ۱۳ آثار کانه‌زایی مس بصورت مالاکیت و آزوریت.

نوع دگرسانی کانی	دگرسانی هیپوژن		دگرسانی سوپرژن
	پتاسیک	فیلیک	
مگنتیت			
مولیبدنیت			
پیریت			
کالکوپیریت			
بورنیت			
اسفالریت			
گالن			
تتراآندریت			
کالکوسیت			
کولیت			
هماتیت			
مالاکیت			
آزوریت			

شکل ۱۴ توالی همبرزایی کانی‌های سولفیدی، اکسیدی و سولفوسالتی تشکیل شده در کانسار دوگان.

بررسی‌های FE-SEM

با بررسی‌های مقاطع صیقلی به روش FE-SEM که بر کانی‌های پیریت، کالکوپیریت و بورنیت موجود در توده‌ی کوارتز دیوریت تا گرانودیوریت پورفیری انجام شده است، در کانی پیریت به جز عناصر اصلی عناصر دیگری دیده نشد. در کانی کالکوپیریت، افزون بر عناصر اصلی، عنصر Se (۱۷/۷۵٪) دیده شد (جدول ۱). در برخی نقاط نیز ذره‌های دیگری بصورت میانبار روی کالکوپیریت وجود داشت که افزون بر آهن، مس و گوگرد، دارای Ag (۰/۰۸٪) و Ti (۱/۸۳٪) هستند (شکل ۱۵؛ جدول ۲). در کانی بورنیت، افزون بر عناصر اصلی،

عناصر Ru (۰/۰۳٪)، Ag (۰/۰۹۹٪)، Pt (۴/۹۴٪) و Au (۷/۲۹٪) وجود دارند (جدول ۳). همچنین در لبه رگه پیریت، برخی بلورهای ریز و تقریباً شکلدار نیز دیده می‌شوند که از آنجا که مقدار گوگرد و اکسیژن بالاست و آهن نیز حضور دارد و چنان که بیان شد، در لبه پیریت تشکیل شده است، به احتمال بسیار یک کانی سولفاتی (ژاروسیت) باشد که دارای عناصری از جمله Ru (۵/۹۲٪)، Ag با (۰/۵۴٪)، Re (۵/۲۴٪)، Ir (۵/۰۷٪)، Pt (۵/۹۸٪) و Au (۸/۰۸٪) است (شکل ۱۶، جدول ۴).

جدول ۱ مقدار عناصر موجود در کالکوپیریت.

Elt	Line	Int	Error	K	Kr	W%	A%	ZAF	Formula	Ox%	Pk/Bg	Class	LConf	HConf	Cat#
S	Ka	۲۰۳۸٫۹	۲۱٫۴۱۵۴	۰٫۵۴۲۷	۰٫۴۷۲۰	۵۱٫۳۵	۶۵٫۸۴	۰٫۹۱۵۶		۰٫۰۰	۲۲٫۰۶	A	۵۰٫۶۳	۵۲٫۰۶	۰٫۰۰
Cl	Ka	۱۸۹٫۶	۲۱٫۴۱۵۴	۰٫۰۵۶۰	۰٫۰۴۸۶	۶٫۵۶	۷٫۶۴	۰٫۷۳۶۸		۰٫۰۰	۵٫۱۵	A	۶٫۲۹	۶٫۸۹	۰٫۰۰
Fe	Ka	۱۵۳٫۸	۰٫۷۵۷۲	۰٫۱۵۶۹	۰٫۱۳۵۹	۱۴٫۵۱	۱۰٫۶۸	۰٫۹۳۶۴		۰٫۰۰	۶٫۲۲	A	۱۳٫۷۸	۱۵٫۲۵	۰٫۰۰
Cu	Ka	۵۸٫۶	۰٫۶۲۴۹	۰٫۱۲۱۵	۰٫۱۰۵۳	۱۱٫۸۰	۷٫۶۳	۰٫۸۹۲۳		۰٫۰۰	۴٫۳۶	A	۱۰٫۸۳	۱۲٫۷۷	۰٫۰۰
Se	Ka	۳۱۹٫۷	۵٫۵۵۷۱	۰٫۱۲۲۹	۰٫۱۰۵۶	۱۵٫۷۵	۸٫۲۰	۰٫۶۷۶۱		۰٫۰۰	۵٫۶۷	A	۱۵٫۱۹	۱۶٫۳۰	۰٫۰۰
				۱٫۰۰۰۰	۰٫۸۶۶۴	۱۰۰٫۰۰	۱۰۰٫۰۰			۰٫۰۰		A			۰٫۰۰

جدول ۲ مقدار عناصر موجود در میانبار موجود در کالکوپیریت

lt	Line	Int	Error	K	Kr	W%	A%	ZAF	Formula	Ox%	Pk/Bg	Class	LConf	HConf	Cat#
O	Ka	۲۳۰٫۸	۱٫۳۸۲۹	۰٫۰۹۶۱	۰٫۰۷۴۴	۲۱٫۴۱	۴۱٫۶۰	۰٫۳۴۷۴		۰٫۰۰	۸٫۳۸	A	۲۰٫۵۲	۲۲٫۲۳	۰٫۰۰
Si	Ka	۲۷٫۷	۰٫۹۲۵۹	۰٫۰۰۵۶	۰٫۰۰۴۳	۰٫۵۵	۰٫۶۱	۰٫۷۷۴۵		۰٫۰۰	۲٫۳۱	B	۰٫۴۹	۰٫۶۲	۰٫۰۰
S	Ka	۱۷۰٫۶۱	۵٫۷۵۵۰	۰٫۴۳۷۰	۰٫۳۳۸۲	۳۷٫۴۲	۳۶٫۲۸	۰٫۹۰۳۸		۰٫۰۰	۲۹٫۶۱	A	۳۶٫۸۵	۳۷٫۹۹	۰٫۰۰
Ti	Ka	۴۱٫۸	۰٫۷۶۰۶	۰٫۰۲۱۰	۰٫۰۱۶۰	۱٫۸۳	۱٫۱۹	۰٫۸۸۱		۰٫۰۰	۳٫۱۳	B	۱٫۶۵	۲٫۰۰	۰٫۰۰
Fe	Ka	۲۴۸٫۶	۰٫۵۹۱۸	۰٫۲۴۴۰	۰٫۱۸۸۸	۲۰٫۷۷	۱۱٫۵۶	۰٫۹۰۹۰		۰٫۰۰	۱۴٫۱۱	A	۱۹٫۹۴	۲۱٫۶۰	۰٫۰۰
Cu	Ka	۹۷٫۲	۰٫۹۹۴۴	۰٫۱۹۳۷	۰٫۱۴۹۴	۱۷٫۷۴	۸٫۶۸	۰٫۸۴۵۳		۰٫۰۰	۷٫۶۳	A	۱۶٫۶۰	۱۸٫۸۷	۰٫۰۰
Ag	Ka	۴٫۰	۵٫۷۵۵۰	۰٫۰۰۲۷	۰٫۰۰۲۱	۰٫۲۹	۰٫۰۸	۰٫۷۲۶۹		۰٫۰۰	۲٫۰۷	A	۰٫۲۰	۰٫۳۷	۰٫۰۰
				۱٫۰۰۰۰	۰٫۸۶۶۴	۱۰۰٫۰۰	۱۰۰٫۰۰			۰٫۰۰		B			۰٫۰۰

جدول ۳ مقدار عناصر موجود کانی بورنیت.

Elt	Line	Int	Error	K	Kr	W%	A%	ZAF	Formula	Ox%	Pk/Bg	Class	LConf	HConf	Cat#
OKa	۴۵٫۴	۱۰٫۱۷۲۳	۰٫۰۱۰۰	۰٫۰۰۸۹	۲٫۴۷	۷٫۷۰	۳۶۲۱٫۰			۰٫۰۰	۲٫۶۰	A	۲٫۲۰	۲٫۶۳	۰٫۰۰
SKa	۲۰۰٫۸۹	۲٫۳۷۸۷	۰٫۲۷۲۴	۰٫۲۴۳۲	۲۷٫۷۴	۴۳٫۲۳	۰٫۸۷۶۷			۰٫۰۰	۲۸٫۴۸	B	۲۷٫۴۷	۲۸٫۰۲	۰٫۰۰
FeKa	۲۲۸٫۷	۰٫۸۸۸۵	۰٫۱۱۸۸	۰٫۱۰۶۱	۱۰٫۱۹	۹٫۱۱	۱٫۰۴۱۳			۰٫۰۰	۹٫۸۵	A	۹٫۸۹	۱۰٫۴۹	۰٫۰۰
CuKa	۴۶۹٫۰	۰٫۹۷۹۰	۰٫۴۹۵۰	۰٫۴۴۲۰	۴۶٫۰۸	۳۶٫۲۳	۰٫۹۵۹۳			۰٫۰۰	۲۷٫۵۳	B	۴۵٫۱۳	۴۷٫۰۳	۰٫۰۰
MoLa	۰٫۰	۰٫۰۰۰۰	۰٫۰۰۰۰	۰٫۰۰۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۷۶۶۸			۰٫۰۰	۲۸٫۴۸	A	-۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰
RuLa	۷٫۵۲۳۷۸۷	۰٫۰۰۲۴	۰٫۰۰۲۱	۰٫۳۰	۰٫۱۵	۰٫۷۰۰۹				۰٫۰۰	۵٫۰۲	A	۰٫۲۵	۰٫۳۵	۰٫۰۰
RhLa	۰٫۰	۰٫۰۰۰۰۰۰۰۰	۰٫۰۰۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۷۲۴۸				۰٫۰۰	۲٫۰۸	A	۰٫۲۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰
PdLa	۰٫۰	۰٫۰۰۰۰۰۰۰۰	۰٫۰۰۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۷۳۱۸				۰٫۰۰	۲٫۱۱	B	-۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰
AgLa	۲۴٫۱	۲٫۳۷۸۷۰۰۰۸۴	۰٫۰۰۷۵	۰٫۹۹	۰٫۴۶	۰٫۷۵۸۰				۰٫۰۰	۲٫۳۴	B	-۰٫۰۰	۱٫۰۸	۰٫۰۰
OsLa	۰٫۰	۰٫۰۰۰۰۰۰۰۰	۰٫۰۰۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۷۰۵۶				۰٫۰۰	۶٫۴۹	B	۰٫۹۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰
IrLa	۰٫۰	۰٫۰۰۰۰۰۰۰۰	۰٫۰۰۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۶۸۷۹				۰٫۰۰	۳٫۲۶	A	-۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰
PtLa	۴٫۱	۰٫۹۷۹۰۰۰۳۷۷	۰٫۰۳۳۶	۴٫۹۴	۱٫۲۷	۰٫۶۸۱۰				۰٫۰۰	۲٫۴۱	B	-۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰
AuLa	۴٫۸	۰٫۹۷۹۰۰۰۵۵۴	۰٫۰۴۹۵	۷٫۲۹	۱٫۸۵	۰٫۶۷۸۳				۰٫۰۰	۲٫۳۵	B	۳٫۸۶	۶٫۰۲	۰٫۰۰
			۱٫۰۰۰۰	۰٫۸۹۳	۱۰۰٫۰۰	۱۰۰٫۰۰				۰٫۰۰		B	۵٫۸۰	۸٫۷۸	۰٫۰۰

جدول ۴ مقدار عناصر موجود در کانی سولفاتنی (ژاروسیت).

Elt	Lin	Int	Error	K	Kr	W%	A%	ZAF	Formula	Ox	Pk/Bg	Class	LConf	HCon	Cat#
O	Ka	۲۲۲٫۳	۰٫۹۵۷	۰٫۷۰۴	۰٫۴۹۸	۱٫۳	۳۹٫۲۶	۲٫۷۴۸		۰٫۰۰	۱۱٫۸۲	A	۱۷٫۳۶	۱۸٫۹۰	۰٫۰۰
Si	Ka	۱۹۲٫۷	۰٫۹۵۷	۰٫۲۹۴	۰٫۲۹۸	۲٫۲۰	۲٫۷۲	۰٫۹۴۴۴		۰٫۰۰	۳٫۶۴	B	۲٫۱۰	۲٫۳۰	۰٫۰۰
S	Ka	۲۹۶۷٫۶	۰٫۹۵۷	۰٫۵۷۸۱	۰٫۴۰۹۰	۰٫۳	۴۹٫۷۵	۰٫۸۸۸۸		۰٫۰۰	۳۰٫۴۵	A	۴۵٫۵۰	۴۶٫۵۷	۰٫۰۰
Fe	Ka	۳۹٫۰	۰٫۳۲۹۴	۰٫۲۹۱	۰٫۲۰۶	۲٫۲۲	۱٫۳۸	۰٫۹۲۷۴		۰٫۰۰	۲٫۶۵	B	۱٫۹۹	۲٫۴۴	۰٫۰۰
Cu	Ka	۵٫۰	۰٫۳۲۹۷	۰٫۰۷۶	۰٫۰۵۴	۰٫۵۹	۰٫۳۲	۰٫۹۲۰۵		۰٫۰۰	۲٫۱۳	B	۰٫۴۲	۰٫۷۵	۰٫۰۰
Ru	La	۱۱۸٫۸	۰٫۹۵۷	۰٫۵۳۴	۰٫۳۷۸	۵٫۹۲	۲٫۰۳	۰٫۶۳۷۹		۰٫۰۰	۵٫۷۵	A	۵٫۵۸	۶٫۲۷	۰٫۰۰
Ag	La	۱۰٫۳	۰٫۹۵۷	۰٫۰۵۲	۰٫۰۳۷	۰٫۵۴	۰٫۱۷	۰٫۶۷۵۹		۰٫۰۰	۲٫۱۴	B	۰٫۴۳	۰٫۶۵	۰٫۰۰
Re	La	۷٫۱	۰٫۳۲۹۷	۰٫۵۰۲	۰٫۳۵۶	۵٫۲۴	۰٫۹۷	۰٫۶۷۸۸		۰٫۰۰	۲٫۱۹	B	۴٫۰۰	۶٫۴۸	۰٫۰۰
Ir	La	۴٫۶	۰٫۳۲۹۷	۰٫۴۷۴	۰٫۳۳۶	۵٫۰۷	۰٫۹۱	۰٫۶۶۲۱		۰٫۰۰	۲٫۱۴	B	۳٫۵۸	۶٫۵۶	۰٫۰۰
Pt	La	۴٫۲	۰٫۳۲۹۷	۰٫۵۵۱	۰٫۳۹۰	۵٫۹۸	۱٫۰۶	۰٫۵۲۲۷		۰٫۰۰	۲٫۱۴	B	۴٫۱۴	۷٫۸۱	۰٫۰۰
Au	La	۴٫۴	۰٫۳۲۹۷	۰٫۷۴۱	۰٫۵۲۴	۸٫۰۸	۱٫۴۲	۰٫۶۴۸۶		۰٫۰۰	۲٫۱۶	B	۵٫۶۶	۱۰٫۵۰	۰٫۰۰
				۱٫۰۰۰	۰٫۷۰۷۰		۱۰۰٫۰۰								۰٫۰۰

برداشت

در منطقه مورد بررسی چند توده‌ی شبه آتشفشانی با ترکیب کوارتزمونزونیت تا مونزودیوریت پورفیری، دیوریت تا میکرودیوریت پورفیری و کوارتز دیوریت تا گرانودیوریت پورفیری وجود دارد که بیشتر منطقه با توده کوارتزمونزونیت تا مونزودیوریت پورفیری دربرگرفته شده است.

- دگرسانی‌های دیده شده در منطقه مورد بررسی انواع اصلی دگرسانی درونزاد شامل پتاسیمی، فلیک، آرژیلی و پروپیلیتی و همچنین دگرسانی‌های حدواسط آنها بصورت انتقالی هستند.
- کانه‌زایی در این کانسار بصورت افشان و رگه-رگچه‌ای رخ داده است. کانی‌های فلزی مهم شامل کانی‌های اولیه (درونزاد) چون پیریت، کالکوپیریت، بورنیت، گالن، اسفالریت، مگنتیت، مولیبدن و تتراندريت و کانی‌های ثانویه (برونزاد) شامل کالکوسیت، کوولیت، هیدروکسیدهای آهن، مالاکیت و آزوریت هستند.

- کانی‌سازی درونزاد سولفیدی رگه‌ای کالکوپیریت و بورنیت در رگه‌های کوارتز موجود در توده‌های کوارتزیدیوریت تا گرانودیوریت پورفیری و دیوریت تا میکرودیوریت پورفیری بیشترین حجم کانی‌سازی در منطقه شامل می‌شود. غنی‌شدگی برونزاد در این کانسار چنان که انتظار می‌رفت به چشم نمی‌خورد و فقط آثار تبدیل شدگی بورنیت و کالکوپیریت به کالکوسیت و کوولیت در بیشتر گمانه‌ها دیده می‌شود. بر اساس بررسی‌های FE-SEM، کانی‌های بورنیت در توده‌ی کوارتز دیوریت تا گرانودیوریت پورفیری دارای طلا و نقره و همچنین برخی از عناصر گروه پلاتین هستند.

قدردانی

این نتایج بخشی از رساله دکتری نویسنده اول است که در دانشگاه تبریز انجام می‌شود و بخشی از هزینه‌های آن را دانشگاه تبریز و همچنین مجتمع شهید عارفی تامین کرده‌اند. از این رو از مدیریت محترم تحصیلات تکمیلی دانشگاه تبریز و همچنین مدیریت محترم مجتمع شهید عارفی تشکر و قدردانی می‌شود.

مراجع

- [2] "GSI-Geological Survey of Iran", Geological map of Moallemman, 1:100,000 Series. 2006
- [3] Alavi M., "Tectonostratigraphic synthesis and structural style of the Alborz mountain system in northern", Iran. J. Geodyn. 21 (1996) 1-33.
- [4] Jankovic S., "The Carpatho-Balkanides and adjacent area: a sector of the Tethyan Eurasian metallogenic belt", Miner. Deposita 32 (1997) 426-433.
- [5] Richards J.P., Wilkinson D., Ullrich T., "Geology of the Sari Gunay epithermal gold deposit", northwest Iran. Econ. Geol. 101 (2006) 1455-1496.
- [6] Axen G.J., Lam P.J., Grove M., Stockli D.F., Hassanzadeh J., "Exhumation of the west-central Alborz Mountains, Iran", Caspian subsidence, and collision-related tectonics. Geology 29 (2001) 559-562.
- [7] Shamanian G.H., Hedenquist J.W., Hattori K.H., Hassanzadeh J., "The Gandy and Abolhassani Epithermal Prospects in the Alborz Magmatic Arc", Semnan Province Northern Iran. Econ. Geol. 99 (2004) 691-712.
- [8] Fard M., Rastad E., Ghaderi M., "Epithermal gold and base metal mineralization at Gandy deposit, north of central Iran and the role of rhyolitic intrusions", J. Sci. Univ. Tehran 17 (2006) 327-335 (in English with Persian abstract).
- [10] Mehrabi B., Ghasemi Siani M., "Intermediate sulfidation epithermal Pb-Zn-Cu ($\pm$ Ag-Au) mineralization at Cheshmeh Hafez deposit, Semnan province. Iran", J. Geol. Soc India 80, (2012) 563-578.
- [10] Niroomand S., Hassanzadeh J., Tajeddin H.A., Asadi S., "Hydrothermal evolution and isotope studies of the Baghu intrusion-related gold deposit, Semnan province", north central Iran. Ore Geol. Rev (2018).
<https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2018.01.015>.
- [11] TaleFazel E., Mehrabi B., GhasemiSiani M., "Epithermal systems of the Torud-Chah Shirin district, northern Iran: Ore-fluid evolution and geodynamic setting", Ore Geology Reviews, 109 (2019) 253-275.
- [12] Eskandari Shibi, Mosivand Fardin, Lehman Brand., "Dogan Copper (South Shahrood): Porphyry Copper-Molybdenum Mineralization in the Torud-Chah Shirin Magmatic Arc", Economic Geology (in Persian) (2025).
- [13] Sattari S., Hosseinzadeh M., Moayyed M., "Petrography, Petrology, and Geochemistry of Sub-Volcanic Bodies in the Dogan Porphyry

- [1] Houshmandzadeh A. M., Haghipour A., "Evolution of Geological Phenomena in the Toroud Region from Precambrian to Present", Geological Survey and Mineral Exploration Organization of Iran, 138 pages (1978)(in Persian).

- [19] Shand S.J., "Eruptive Rocks: Their Genesis, Composition, Classification, and Their Relation to Ore Deposits with a Chapter on Meteorites", John Wiley and Sons, New York, No. 552.1 S43 1943.
- [20] Brown G.C., Thorpe R.S., Webb P.C., "The geochemical characteristics of granitoids in contrasting arcs and comments on magma sources", J. Geol. Soc. London. 141 (1984) 413–426.
- [21] Temel A., Gündoğdu M.N., Gourgau A., "Petrological and geochemical characteristics of Cenozoic high-K calc-alkaline volcanism in Konya, Central Anatolia, Turkey", Journal of Volcanology and Geothermal Research 85 (1998) 327–354.
- [22] Defant M.J., Drummond M.S., "Derivation of some modern magmas through melting of young subducted lithosphere", Nature 347 (1990) 662–665.
- Copper-Molybdenum deposit (Toroud-Chah Shirin Axis)", Petrological Journal (in Persian) (Article in the process of printing) (2025).
- [14] Nogol Sadat M.A., Almasian M., "Tectonic map of Iran at a scale of 1:1000000", Geological Organization of the country (1993).
- [15] Aghanabati A., "Geology of Iran. Geological Survey of Iran", Tehran (in Persian) (2004).
- [16] Abedini M., Ziaii M., Timkin T., Pour A. B., "Big data analytics for mining geochemistry of gold mineralization: The Gandy gold deposit, the Toroud-Chah Shirin (TCS) belt, north Iran", Ore Geology Reviews, 161 (2023) 105653.
- [17] Moeyyd M., Ali-Nejad S., "Geological Report of the 1:1000 Map of the Dogan Region", (in Persian) (2020).
- [18] Winchester J.A., Floyd P.A., "Geochemical discrimination of different magma series and their differentiation products using immobile elements", Chem. Geol. 20 (1977) 325-343.