

تیپ و خاستگاه کانه‌زایی مس – طلای شمال چرگر (جنوب خاور زنجان): با استفاده از داده‌های

سنگ‌شناسی، کانی‌شناسی و زمین‌شیمیایی

فاطمه ندرلو^۱، میرعلی اصغر مختاری^۲، حسین کوهستانی^۳، قاسم نباتیان^۲

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

^۲ دانشیار، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۲/۳۱ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۱/۰۱

چکیده

رخدادهای مس-طلای شمال چرگر در زیرپهنه طارم-هشتجین واقع شده و دربرگیرنده تناوب گدازه‌های آندزیتی و کوارتزآندزیتی با واحدهای توفی می‌باشد. گدازه‌های آتشفشانی ماهیت کالک‌آلکان داشته، در یک محیط کمان حاشیه فعال قاره‌ای تشکیل شده‌اند. کانه‌زایی به‌صورت پهنه سیلیسی شده حاوی رگه-رگچه‌های کوارتزی کانه‌دار می‌باشد. براساس مطالعات کانه‌نگاری، کالکوپیریت و پیریت کانه‌های اصلی معدنی بوده و مالاکیت، کوولیت، کالکوسیت و گوتیت در اثر فرایندهای برون‌زاد تشکیل شده‌اند. کوارتز، باریت و کلریت کانی‌های باطله هستند. دگرسانی‌ها شامل سیلیسی‌شدن، کلریتی، سریسیتی و آرژیلیکی است. بافت مواد معدنی و باطله از نوع دانه‌پراکنده، رگه-رگچه‌ای، برشی، کالکی، شانه‌ای، جانشینی، بازماندی و پُرکننده فضاهای خالی می‌باشد. براساس مطالعات صحرایی و میکروسکوپی، کانه‌زایی مس-طلای شمال چرگر به چهار مرحله قابل تفکیک است: ۱- مرحله اول عبارت از سیلیسی‌شدن سنگ میزبان آذرآواری همراه با کانه‌زایی پیریت با بافت دانه‌پراکنده می‌باشد، ۲- مرحله دوم به‌صورت رگه-رگچه‌های کوارتزی حاوی کالکوپیریت و پیریت و سیمان گرمایی برش‌ها قابل مشاهده است، ۳- مرحله سوم شامل رگه-رگچه‌های باریت می‌باشد که مراحل قبلی کانه‌زایی را قطع کرده‌اند، ۴- مرحله آخر مربوط به فرایندهای برون‌زاد می‌باشد. ویژگی‌های زمین‌شناسی، کانی‌شناسی و ساخت و بافت ماده معدنی در رخدادهای مس-طلای شمال چرگر شباهت زیادی با کانسارهای اپی‌ترمال فلزات پایه (تیپ سولفیداسیون متوسط) دارد.

کلیدواژه‌ها: کانه‌زایی مس-طلا، اپی‌ترمال، سولفیداسیون متوسط، چرگر، طارم

* نویسنده مسئول: میرعلی اصغر مختاری

E-mail: amokhtari@znu.ac.ir

۱- پیش‌نوشتار

رخدادهای مس-طلای شمال چرگر، در فاصله حدود ۷۴ کیلومتری جنوب‌خاور زنجان و در ارتفاعات طارم قرار دارد. این منطقه بخش شمال باختر نقشه ۱:۱۰۰،۰۰۰ زمین‌شناسی ابهر (حسینی و همکاران، ۱۳۹۵) بوده و بر پایه تقسیمات پهنه‌های ساختمانی-رسوبی ایران (آق‌نابتی، ۱۳۸۳)، در پهنه البرز باختری قرار می‌گیرد. منطقه شمال چرگر بخشی از کمربند ماگمایی-فلززایی طارم-هشتجین می‌باشد. این کمربند، میزبان کانسارهای آهن مروارید (نباتیان، ۱۳۹۱)، سرخه دیزج (نباتیان، ۱۳۸۷؛ Nabatian et al., 2012)، ذاکر (نباتیان، ۱۳۹۱) و گلستان‌آباد (کردیان و همکاران، ۱۳۹۶)، کانسارهای مس ماری (حسین‌زاده و همکاران، ۱۳۹۵ الف)، علی‌آباد-خان‌چای (مختاری و همکاران، ۱۳۹۵؛ Kouhestani et al., 2018)، آق‌کند (فیضی و همکاران، ۱۳۹۵؛ Kouhestani et al., 2017)، چودرچای (Yasami and Ghaderi, 2019) و کانسارهای مس-طلا گلوچه (Ghasemi Siani et al., 2015; Mehrabi et al., 2016)، خلیفه‌لو (حسین‌زاده و همکاران، ۱۳۹۵ ب)، لوبین-زرد (Zamanian et al., 2019)، لهنه (زمانیان و همکاران، ۱۳۹۴) و کانسار مکنگز دهنج (شریعت‌بهداری و همکاران، ۱۳۹۷) می‌باشد. این کانی‌زایی‌ها سن‌ترشیری داشته و ارتباط فضایی و مکانی نزدیکی با توده‌های نفوذی دارند.

مطالعات متعددی در قالب پروژه‌های اکتشافی و پایان‌نامه‌های کارشناسی ارشد و دکتری در بخش‌های مختلف زیرپهنه طارم-هشتجین بر روی کانه‌زایی‌های موجود، توده‌های نفوذی و گاه سنگ‌های آتشفشانی-رسوبی صورت گرفته است (مانند مختاری و همکاران، ۱۳۹۵؛ فیضی و همکاران، ۱۳۹۵؛ آق‌زاده و همکاران، ۱۳۹۴؛ سعیدی و همکاران، ۱۳۹۷؛ Nabatian et al., 2014, 2016; Mehrabi et al., 2016; Yasami and Ghaderi., 2019). طی مطالعات اکتشافی در منطقه شمال چرگر، آثار کانه‌زایی مس-طلا به‌صورت رگه‌های کوارتزی و پهنه‌های سیلیسی حاوی کانی‌سازی مس-طلا گزارش شده است (قنبری، ۱۳۹۵). به‌رغم مطالعات اکتشافی یاد شده، تاکنون مطالعات

پژوهشی دقیق بر روی ویژگی‌های پترولوژیکی و زمین‌شیمیایی سنگ‌های آتشفشانی منطقه کانه‌زایی شمال چرگر و همچنین کانی‌شناسی، ساخت و بافت، زمین‌شیمی و ژئز کانه‌زایی آن انجام نشده است. در این راستا، در این پژوهش سعی بر این است که با مطالعه ویژگی‌های زمین‌شناسی، زمین‌شیمی و محیط زمین‌ساختی-ماگمایی سنگ‌های آتشفشانی میزبان کانه‌زایی و همچنین مطالعه ویژگی‌های کانی‌شناسی، ساخت و بافت، زمین‌شیمی و خاستگاه کانه‌زایی مس-طلا، عوامل کلیدی توزیع زمانی و مکانی اکتشاف کانه‌زایی‌های مشابه در این منطقه را تعیین کرد.

۲- روش مطالعه

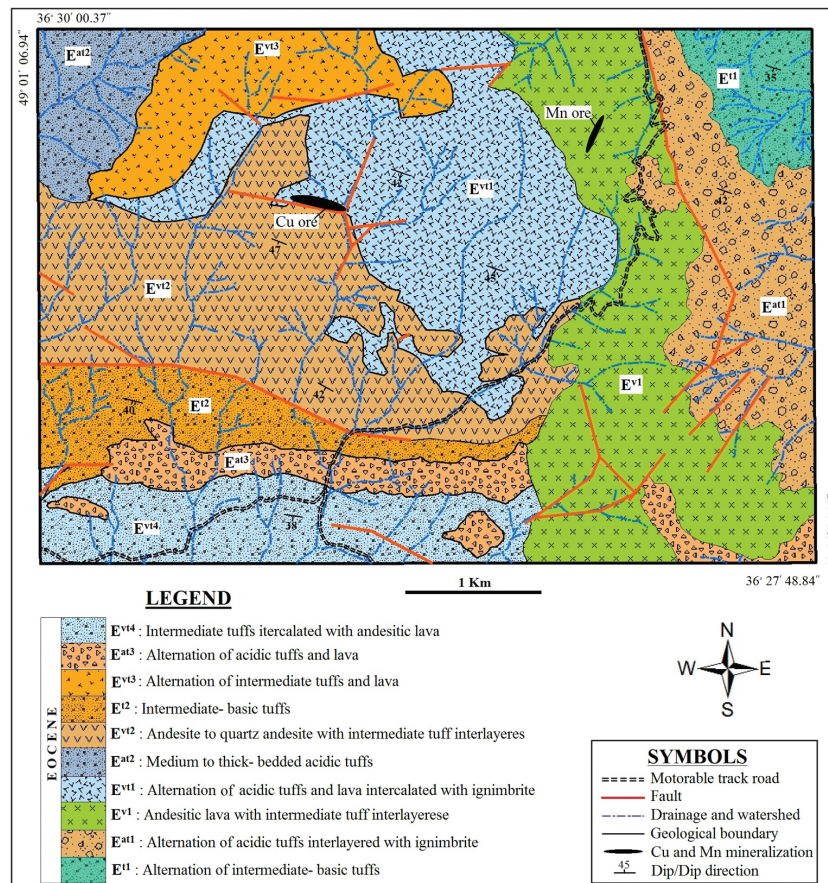
این پژوهش شامل دو بخش مطالعات صحرایی و آزمایشگاهی است. در مطالعات صحرایی، پیمایش‌های متعددی از منطقه انجام و نقشه زمین‌شناسی مقیاس ۱:۲۰۰۰۰ از منطقه تهیه شد. در این راستا، بیش از ۵۰ نمونه برای مطالعات سنگ‌شناسی، کانه‌نگاری و آنالیزهای شیمیایی برداشت شد. طی برداشت‌های صحرایی، امتداد، شیب و سبزی رگه‌ها و پهنه‌های سیلیسی کانه‌دار اندازه‌گیری شد. در مرحله بعد، تعداد ۱۷ مقطع نازک و ۱۷ مقطع نازک-صیقلی برای مطالعات سنگ‌شناسی و کانه‌نگاری از نمونه‌های برداشت‌شده تهیه گردید. در ادامه، براساس مطالعات سنگ‌شناسی و کانه‌نگاری، ۷ نمونه از واحدهای سنگی آتشفشانی کمتر دگرسان‌شده و ۵ نمونه از بخش‌های کانه‌دار برای تعیین میزان عناصر فرعی، کمیاب و کمیاب خاکی به روش‌های ICP-MS و XRF در شرکت زرآزما در تهران آنالیز شد. دقت آنالیز اکسیدهای اصلی در حد ۰/۱ درصد و برای عناصر کمیاب حدود ۰/۱ گرم در تن می‌باشد.

۳- زمین‌شناسی و سنگ‌شناسی منطقه شمال چرگر

براساس نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰،۰۰۰ ابهر (حسینی و همکاران، ۱۳۹۵)، بخش اصلی رخنمون‌های سنگی در محدوده رخدادهای مس-طلای شمال چرگر را نهشته‌های

نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۰۰۰۰ تهیه‌شده از رخداد معدنی شمال چرگر (شکل ۱)، واحدهای سنگی موجود در این منطقه شامل واحدهای آتشفشانی- رسوبی ائوسن (شامل واحدهای E^{v1} , E^{at1} , E^{v2} , E^{at2} , E^{v3} , E^{at3} و E^{v4}) هستند. این مجموعه آتشفشانی- رسوبی متشکل از تناوب لایه‌های توفی (خاکستر توف، کریستال توف، کریستال- لیتیک توف، لیتیک توف، آگلومرا، توف ماسه‌ای و ماسه‌سنگ توفی) با ترکیب حدواسط و اسیدی، ایگنمبریت و گدازه‌های آندزیتی و کوارتز آندزیتی بوده و روند عمومی آنها، شمال‌باختر- جنوب‌خاور با شیب به سمت جنوب‌باختر می‌باشد.

آذرآواری و جریان‌های گدازه ائوسن (معادل سازند کرج) تشکیل داده است. سری آتشفشانی- رسوبی ائوسن در منطقه طارم به دو عضو کردکند و آمدند تقسیم شده است که واحدهای سنگی منطقه مورد مطالعه مربوط به عضو آمدند هستند. یک‌سری توده‌های نفوذی با ترکیب سنگ‌شناختی گابرو، دیوریت، مونزودیوریت، مونزونیت، کوارتز مونزودیوریت، کوارتز مونزونیت، گرانیت و سینیت در بخش‌های جنوب‌خاوری این منطقه رخنمون دارند که به داخل توالی آتشفشانی- رسوبی یادشده نفوذ کرده‌اند. افزون بر این، تعدادی گنبد نیمه‌نفوذی با ترکیب داسیتی تا کوارتز آندزیتی، واحدهای آتشفشانی- رسوبی ائوسن را قطع کرده‌اند. براساس



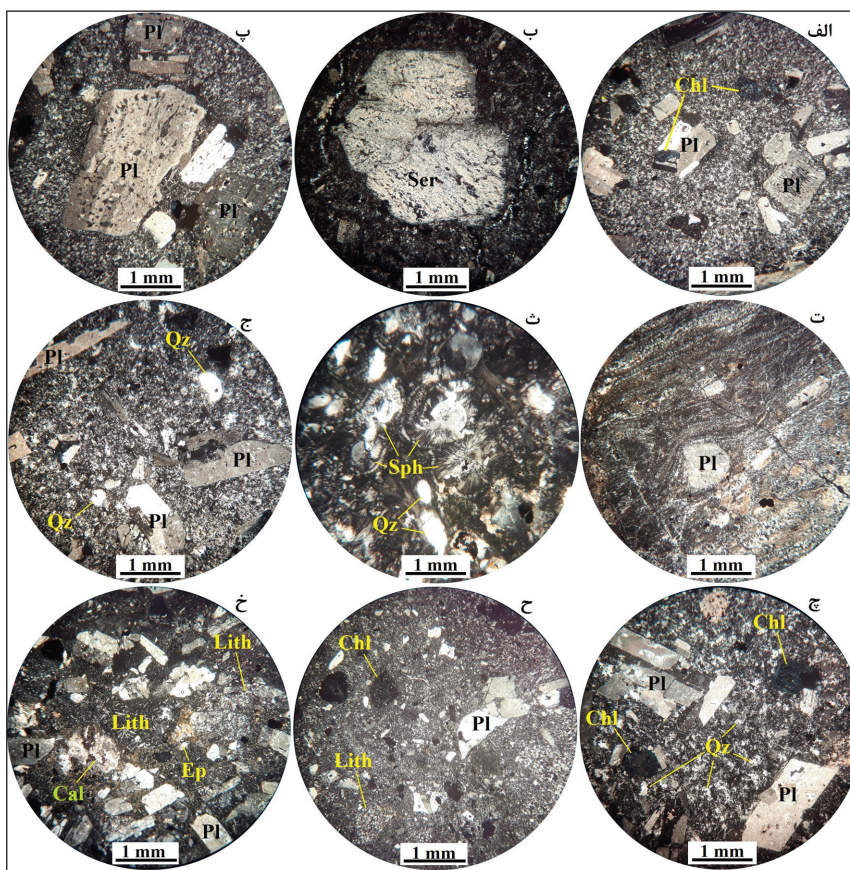
شکل ۱- نقشه زمین‌شناسی مقیاس ۱:۲۰۰۰۰ تهیه‌شده از منطقه مورد مطالعه.

مافییک کاملاً جانشین شده توسط کلریت هستند. در برخی نمونه‌ها، کوارتز به صورت بلورهای نسبتاً درشت نیز قابل مشاهده است (شکل ۲-ج). بلورهای پلاژیوکلاز، شکل‌دار تا نیمه‌شکل‌دار بوده و با درجات متفاوتی به کلسیت و کانی‌های رسی دگرسان شده‌اند. بعضی از پلاژیوکلازها دارای بافت غربالی هستند. کانی‌های مافییک سنگ به طور کامل توسط کلسیت و کلریت جانشین شده‌اند (شکل ۲-چ). با توجه به شکل بلوری، به نظر می‌رسد کانی اولیه از نوع هورنبلند بوده باشد. زمینه سنگ عمدتاً دانه‌ریز و غنی از کوارتز و فلدسپارها می‌باشد. واحدهای توفی دارای بافت‌های پورفیر و کلاستیک بوده (شکل ۲-ح) و درشت‌بلور اصلی آنها پلاژیوکلاز می‌باشد. بخش عمده بلورهای درشت حالت شکسته‌شده، ترک‌خورده و زاویه‌دار نشان می‌دهند. برخی بلورهای پلاژیوکلاز، دارای ماکل‌های ناقص و خمیده هستند. این موضوع بیانگر این است که بلور در حین تبلور و یا بعد از تبلور تحت تأثیر تنش قرار گرفته است. تعدادی بلور درشت کاملاً جانشین شده توسط کلریت در این سنگ‌ها وجود دارد. این کانی‌ها، عبارت از کانی‌های مافییک اولیه سنگ بوده‌اند که

براساس مطالعات میکروسکوپی، آندزیت‌ها دارای بافت‌های پورفیری، پورفیری میکرولیتی و غربالی بوده و درشت‌بلورهای آنها شامل پلاژیوکلاز و کانی‌های مافییک کلریتی شده می‌باشد (شکل ۲-الف). کانی‌های رسی، کلریت، سریسیت، کلسیت، کوارتز و کانی‌های کدر به عنوان کانی‌های ثانویه حضور دارند. پلاژیوکلاز به صورت بلورهای خودشکل و نیمه‌خودشکل با درجات متفاوتی از دگرسانی به سریسیت، کانی‌های رسی و کلسیت مشاهده می‌شود (شکل ۲-ب). برخی بلورهای پلاژیوکلاز دارای بافت غربالی هستند (شکل ۲-پ). درشت‌بلورهای کانی‌های مافییک کاملاً توسط کلریت و گاه کلسیت جایگزین شده است (شکل ۲-الف). شناسایی کانی مافییک اولیه به دلیل دگرسانی عملاً غیر ممکن است، لیکن با توجه به شکل بلوری، احتمالاً کانی‌های مافییک اولیه سنگ، آمفیبول بوده‌اند. کوارتز آندزیت‌ها دارای بافت‌های پورفیری، گلوپورفیری، غربالی، آمیگدالوئیدی، هیالوپورفیری، اسفرولیتی و گاه جریان‌ی می‌باشند (شکل ۲-ت و ث). از نظر کانی‌شناسی، متشکل از درشت‌بلورهای پلاژیوکلاز و یک‌سری کانی‌های

کانی‌های مافیک کلریتی شده در مقایسه با قطعات سنگی، ترکیب واحدهای توفی در حد لیتیک کریستال توف تا کریستال لیتیک توف متغیر است. تجمعاتی از اپیدوت در فضای بین قطعات سنگی و بلورها وجود دارد. رگچه‌های کوارتز کلسیتی و آغشتگی به هیدروکسیدهای آهن در برخی از نمونه‌ها قابل مشاهده است.

با توجه به شکل منشوری، به نظر می‌رسد از نوع آمفیبول بوده باشند. قطعات سنگی در ابعاد تا ۵ میلی‌متر مشاهده می‌شوند (شکل ۲-خ). قطعات سنگی دارای بافت‌های پورفیری، میکرولیتی و حتی پورفیروکلاستیک بوده و می‌توان این قطعات سنگی را از نوع گدازه و توف در نظر گرفت. با توجه به فراوانی نسبی بلورهای پلاژیوکلاز و



شکل ۲- تصاویر میکروسکوپی از واحدهای سنگی منطقه شمال چرگر در نور عبوری پلاریزه متقاطع (XPL). الف) بافت پورفیری متشکل از درشت‌بلورهای پلاژیوکلاز و کانی‌های مافیک کلریتی شده در زمینه دانه‌ریز در آندزیت. ب) درشت‌بلور پلاژیوکلاز دگرسان‌شده به سریسیت در آندزیت. پ) بلور پلاژیوکلاز با بافت غربالی در آندزیت. ت) بافت پورفیری حاوی درشت‌بلورهای پلاژیوکلاز در زمینه جریان‌ی مشخص در کوارتز آندزیت. ث) بافت اسفرولیتی حاوی بلورهای نسبتاً درشت کوارتز در کوارتز آندزیت. ج) بلورهای نسبتاً درشت کوارتز به همراه درشت‌بلور پلاژیوکلاز با بافت غربالی در کوارتز آندزیت. چ) بافت پورفیری متشکل از درشت‌بلورهای پلاژیوکلاز و کانی‌های مافیک کلریتی شده در زمینه دانه‌ریز حاوی کوارتز در گدازه کوارتز آندزیت. ح) بافت پورفیروکلاستیک حاوی درشت‌بلورهای شکسته‌شده پلاژیوکلاز به همراه کانی مافیک کلریتی شده و قطعات سنگ در لیتیک کریستال توف. خ) بافت پورفیروکلاستیک حاوی قطعات سنگی به همراه درشت‌بلورهای پلاژیوکلاز و تجمع اپیدوت و کلسیت در بین آنها در کریستال لیتیک توف‌ها. علائم اختصاری کانی‌ها از (Withney and Evans 2010) اقتباس شده است. Cal: کلسیت، Chl: کلریت، Ep: اپیدوت، Lith: قطعه سنگ، Pl: پلاژیوکلاز، Qz: کوارتز، Ser: سریسیت، Sph: بافت اسفرولیتی

۴- زمین‌شیمیایی سنگ‌های آتشفشانی

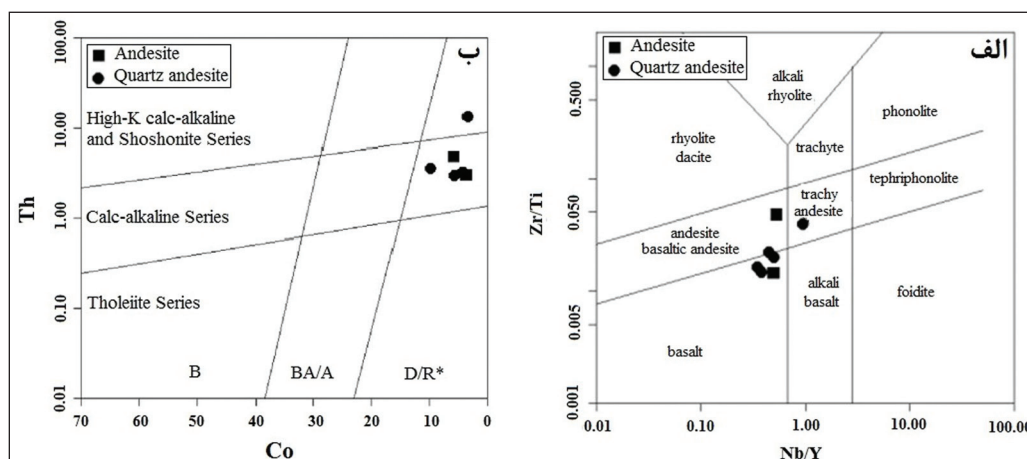
با توجه به اینکه سنگ‌های منطقه مورد مطالعه تحت تأثیر سیالات گرمایی قرار گرفته و کانه‌زایی در آنها تشکیل شده است، از نمودارهای سنگ‌شناسی ارائه شده براساس عناصر کمیاب غیر متحرک برای نام‌گذاری آنها استفاده شده است. براساس نمودار Nb/Y در برابر Zr/Ti (Pearce, 1996) نمونه‌های مورد مطالعه در قلمرو

همچنان که پیش‌تر گفته شد، جهت بررسی ویژگی‌های زمین‌شیمیایی و تعیین جایگاه زمین‌ساختی-ماگمایی سنگ‌های آتشفشانی موجود در منطقه شمال چرگر، تعداد ۷ نمونه از سنگ‌های آتشفشانی به روش‌های XRF و ICP-MS در آزمایشگاه شرکت زراژما مورد آنالیز قرار گرفت (جدول ۱).

بازالت، آندزیت (آندزیت بازالتی) و تراکی آندزیت قرار گرفته‌اند (شکل ۳-الف).
 براساس نمودار Co در برابر Th (Hastie et al., 2007)، بخش عمده نمونه‌ها در محدوده سری کالک‌آلکان و یک نمونه در قلمرو کالک‌آلکان پتاسیم بالا واقع شده‌اند (شکل ۳-ب).

جدول ۱- نتایج تجزیه شیمیایی عناصر اصلی، کمیاب و کمیاب خاکی در سنگ‌های آتشفشانی منطقه شمال چرگر. مقادیر اکسیدهای اصلی بر حسب درصد وزنی و سایر عناصر بر حسب گرم در تن می‌باشد.
 (Ad: آندزیت و Qz Ad: کوارتز آندزیت).

	CH01	CH07	CH08	CH09	CH14	CH15	CH41
	Ad	Qz Ad	Qz Ad	Qz Ad	Qz Ad	Qz Ad	Ad
SiO ₂	68.31	68.58	68.90	69.12	70.38	67.69	69.36
TiO ₂	0.55	0.67	0.62	0.57	0.40	0.61	0.66
Al ₂ O ₃	14.74	14.59	14.58	15.13	14.18	15.52	15.31
Fe ₂ O ₃	3.73	4.07	3.62	3.35	2.89	3.79	3.65
MnO	0.23	0.21	0.14	0.19	0.08	0.25	0.28
MgO	1.71	1.88	1.31	1.30	1.24	1.44	0.16
CaO	0.86	1.01	0.87	0.49	0.45	0.45	0.35
Na ₂ O	4.39	5.03	5.18	4.29	1.86	4.58	3.39
K ₂ O	3.02	1.63	3.05	3.84	6.86	3.76	5.45
P ₂ O ₅	0.09	0.09	0.12	0.15	0.05	0.21	0.11
LOI	2.12	2.20	1.54	1.43	1.54	1.56	1.18
Total	99.75	99.96	99.93	99.86	99.93	99.86	99.90
As	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	100
Ba	1051	546	670	1487	1377	1459	1105
Cd	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.4
Ce	42	37	42	42	67	48	50
Co	3.6	5.6	2.7	3.9	3.3	4.2	11
Cr	10	12	10	11	9	11	11
Cs	1	1.3	0.5	1	1.1	1.1	2.8
Cu	7	37	8	8	155	20	18
Dy	4.09	4.07	2.65	3.6	2.6	3.23	4.34
Er	1.95	2.27	1.6	1.9	1.66	1.86	2.67
Eu	1.58	1.03	0.87	1.31	1.23	1.22	1.36
Gd	3.77	3.51	3.51	3.3	2.72	3.04	3.75
Hf	1.35	1.29	2.11	1.73	2.19	1.68	4.59
La	22	21	22	20	37	19	22
Lu	0.2	0.25	0.28	0.25	0.29	0.22	0.38
Nb	8.8	8.4	6.5	7	13.7	7.9	11.6
Nd	19.7	15.7	19.7	17.2	21.4	15.5	19.7
Ni	1	1	1	1	1	1	1
Pb	2	6	5	5	1	4	67
Pr	5.15	4.12	6.03	4.45	6.47	4.09	4.84
Rb	65	35	52	57	125	55	113
Sc	7.5	9.5	8.8	7	4	8.8	8.6
Sm	4.31	3.53	3.99	3.92	4	3.57	4.18
Sr	166.8	174.1	96	152.6	68.2	152.5	112.1
Ta	0.47	0.44	0.1	0.26	0.69	0.33	0.61
Tb	0.62	0.6	0.64	0.53	0.44	0.51	0.62
Th	3.02	2.97	3.14	3.02	13.24	3.24	4.87
Tm	0.25	0.3	0.23	0.26	0.26	0.26	0.38
U	0.9	1.5	1.1	1.23	3.2	1.2	1.5
V	45	65	50	43	31	49	39
Y	17.6	21.8	17	15.6	14.3	15.8	21.9
Yb	1.1	2	1.4	1.5	1.8	1.6	2.7
Zn	111	123	107	91	44	103	61
Zr	42	48	41	66	80	66	173

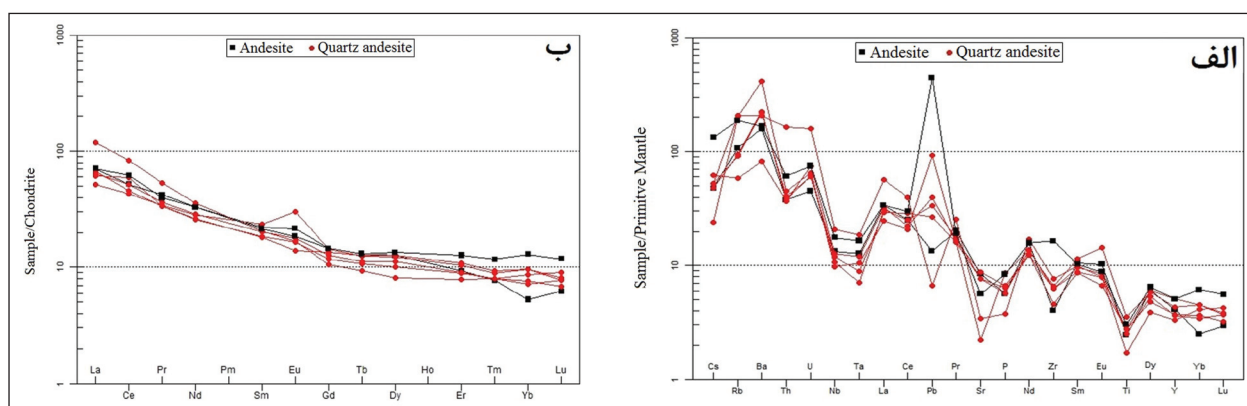


شکل ۳- الف) موقعیت نمونه‌های سنگی مورد مطالعه بر روی نمودار Nb/Y در برابر Zr/Ti (Modified by Pearce, 1996). ب) موقعیت نمونه‌های سنگی مورد مطالعه بر روی نمودار Co در برابر Th (Hastie et al., 2007).

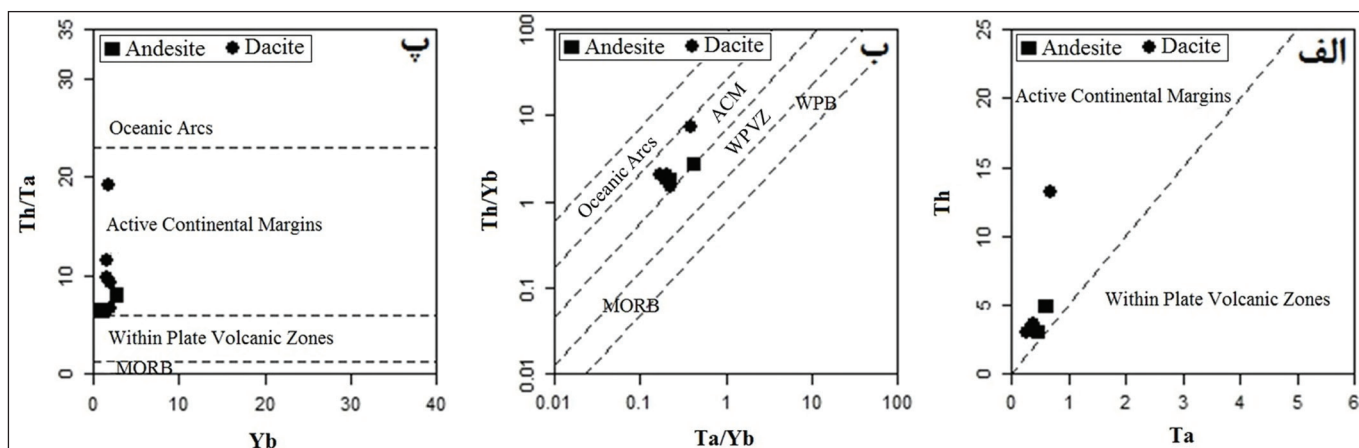
براساس الگوی عناصر کمیاب خاکی بهنجار شده نسبت به کندریت (Boynton, 1984)، تمامی نمونه‌های مورد مطالعه یک الگوی غنی از LREE با نسبت بالای LREE/HREE می‌باشند (شکل ۴-ب). عناصر HREE یک الگوی مسطح را نشان می‌دهند (شکل ۴-ب). غنی‌شدگی LREE نسبت به HREE می‌تواند ناشی از درجه پایین ذوب بخشی و بالا بودن مقادیر LREE نسبت به HREE در سنگ منشأ (Wright and McCurry, 1997) و آلودگی ماگما به وسیله مواد پوسته‌ای (Srivastava and Singh, 2004) باشد. بالا بودن LREE/HREE در سنگ‌های آتشفشانی منطقه شاخصی از گوشته غنی شده به وسیله فروانش یا احتمالاً آلاینش پوسته‌ای است (Fitton et al., 1988).

برای تعیین جایگاه زمین‌ساختی-ماگمایی سنگ‌های مورد مطالعه از نمودارهای شندل و گورتون (Schandle and Groton, 2002) استفاده شد. همچنان که در نمودار Th در برابر Ta مشخص است (شکل ۵-الف)، تمامی نمونه‌های سنگ‌های آتشفشانی مورد مطالعه در محدوده حاشیه فعال قاره‌ای قرار می‌گیرند. مطابق با نمودارهای Th/Yb در برابر Ta/Yb (شکل ۵-ب) و Th/Ta در برابر Yb (شکل ۵-ب) نیز تمامی نمونه‌ها در محدوده حواشی فعال قاره‌ای قرار می‌گیرند.

در نمودار بهنجار شده نسبت به گوشته اولیه (شکل ۴-الف)، غنی‌شدگی از عناصر LILE (U و Cs، Ba، Rb، Th) همراه با بی‌هنجاری منفی عناصر Nb، Ta و Ti در گدازه‌های منطقه مورد مطالعه مشاهده می‌گردد. عنصر Pb در بیشتر نمونه‌ها بی‌هنجاری مثبت شاخص داشته و در تعداد کمی از نمونه‌ها بی‌هنجاری منفی نشان می‌دهد (شکل ۴-الف). غنی‌شدگی در عناصر LILE از ویژگی‌های عمده ماگماهای وابسته به فروانش است (Kuscu and Geneli, 2010). بی‌هنجاری مثبت Pb به متاسوماتیسم گوه گوشته‌ای توسط سیالات ناشی از پوسته اقیانوسی فرورو و یا آلاینش ماگما با پوسته قاره‌ای اشاره دارد (Kamber et al., 2002). در نمودار یاد شده، بی‌هنجاری منفی Nb و Ta به شکل بارزی در همه نمونه‌های مورد مطالعه مشاهده می‌شود که نشان‌دهنده ماگماهای مربوط به محیط‌های مرتبط با فروانش بوده و می‌تواند در اثر آلودگی پوسته و سیالات آزاد شده از لیتوسفر فروورونده به وجود آمده باشد (Aldanmaz et al., 2000). با توجه به وجود بی‌هنجاری‌های مثبت و منفی عناصر یاد شده در منطقه مورد مطالعه، می‌توان گفت که ماگمای اولیه منطقه از ذوب بخشی گوه گوشته متاسوماتیسم شده در نتیجه فروانش تشکیل شده است.



شکل ۴- الف) نمودار عناصر کمیاب بهنجار شده نسبت به گوشته اولیه (McDonough and Sun, 1995) برای نمونه‌های مورد مطالعه. ب) نمودار عناصر کمیاب خاکی میزبان بهنجار شده به کندریت (Boynton, 1984) برای سنگ‌های مورد مطالعه.

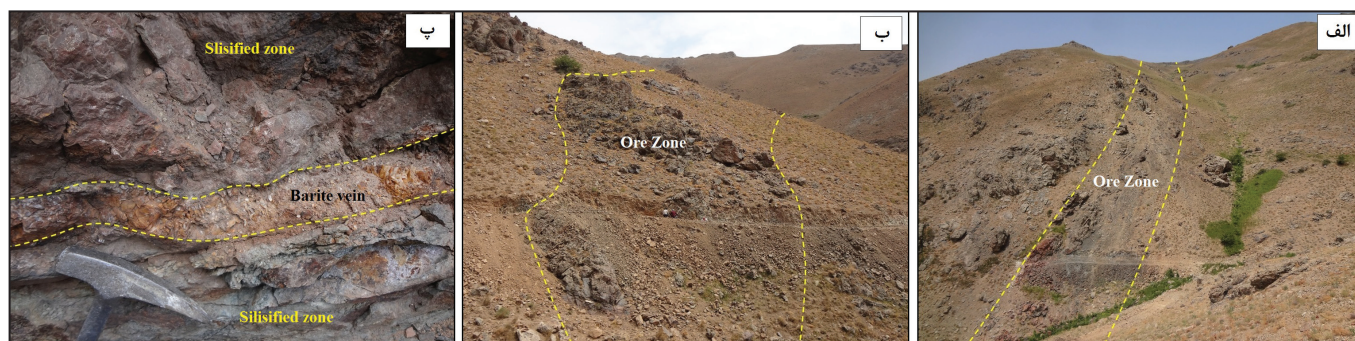


شکل ۵- موقعیت نمونه‌های مورد مطالعه بر روی نمودارهای شندل و گورتون (Schandle and Groton, 2002): الف) نمودار Th در برابر Ta، ب) نمودار Th/Yb در برابر Ta/Yb، پ) نمودار Th/Ta در برابر Yb.

۵- کانه‌زایی

قابل مشاهده است (شکل ۶-پ). براساس مشاهدات صحرایی، کانه‌زایی مس عمدتاً به صورت آغشتگی‌های مالاکیتی حضور داشته و گاه کالکوپیریت در همراهی با رگه-رگچه‌های سیلیسی و همچنین در سیمان گرمایی برش‌ها قابل مشاهده است. ستبرای رگه-رگچه‌های کانه‌دار از چند میلی‌متر تا حداکثر ۳ سانتی‌متر متغیر است. سنگ میزبان سیلیسی شده حاوی تمرکزهای بالایی از پیریت‌های ریزبلور می‌باشد. نتایج آنالیز نمونه‌های برداشت شده از پهنه سیلیسی کانه‌دار در حین مطالعات اکتشافی بیانگر این است که این پهنه برای کانه‌زایی طلا مستعد بوده و عیار طلا در آن تا ۱۸/۶ گرم در تن اندازه‌گیری شده است (قنبری، ۱۳۹۵).

کانه‌زایی مس-طلا در رخداد معدنی شمال چرگر به صورت رگه-رگچه‌ای درون واحدهای آتشفشانی-رسوبی انوسن رخ داده است. سیمای اصلی کانه‌زایی در این رخداد معدنی شامل یک پهنه سیلیسی کانه‌دار با روند عمومی شمال‌باختر-جنوب‌خاور (N120E) با شیب حدود ۵۰-۶۰ درجه به سمت جنوب‌باختر می‌باشد (شکل ۶-الف و ب). این پهنه حدود ۴۵۰ متر درازا و بین ۳-۱۵ متر پهنا دارد. سنگ میزبان کانه‌زایی عبارت از سنگ‌های آذرآواری شامل کریستال لیتیک توف و لیتیک کریستال توف واحد E^{VI} می‌باشد. در داخل این پهنه سیلیسی، کانه‌زایی به صورت رگه-رگچه‌های سیلیسی حاوی کانه‌زایی مس و رگه-رگچه‌های باریت



شکل ۶- الف) نمای از پهنه سیلیسی کانه‌دار در داخل واحدهای آذرآواری (دید به سمت شمال‌باختر). ب) نمای از پهنه سیلیسی کانه‌دار (دید به سمت خاور). پ) نمای نزدیک از رگه باریتی داخل پهنه سیلیسی کانه‌دار.

کالکوپیریت فراوان‌ترین کانه موجود در رخداد معدنی شمال چرگر است که اغلب به صورت بلورهای نیمه‌خودشکل و گاه بی‌شکل حضور داشته (شکل ۷-الف) و در بیشتر موارد از حاشیه‌ها و در امتداد شکستگی‌ها به گوتیت، لپیدوکروسیت، کالکوسیت و کوولیت دگروسان شده است (شکل ۷-ب و پ). شدت دگروسانی گاه به حدی است که این کانی به‌طور کامل به گوتیت تبدیل شده و یا تنها بقایایی از آن با بافت بازماندی و جزیره‌ای باقی مانده است (شکل ۷-پ). در برخی از

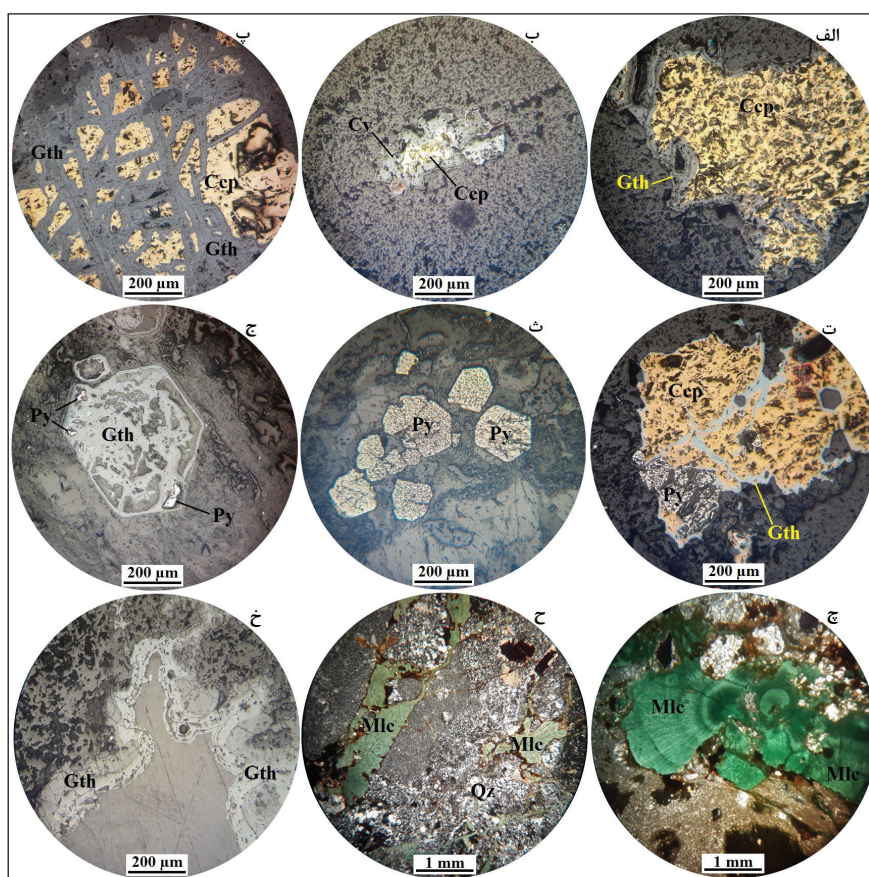
۱-۵. کانی‌شناسی مواد معدنی و باطله

مطالعات کانه‌نگاری نمونه‌های برداشت شده از پهنه کانه‌دار در رخداد معدنی شمال چرگر بیانگر این است که کالکوپیریت و پیریت کانی‌شناسی اصلی ماده معدنی را تشکیل می‌دهند. مالاکیت، کوولیت، کالکوسیت، گوتیت و لپیدوکروسیت در اثر فرایندهای هوازدگی و برون‌زاد تشکیل شده‌اند. کوارتز، باریت و کلریت کانی‌های اصلی مواد باطله در این رخداد معدنی هستند.

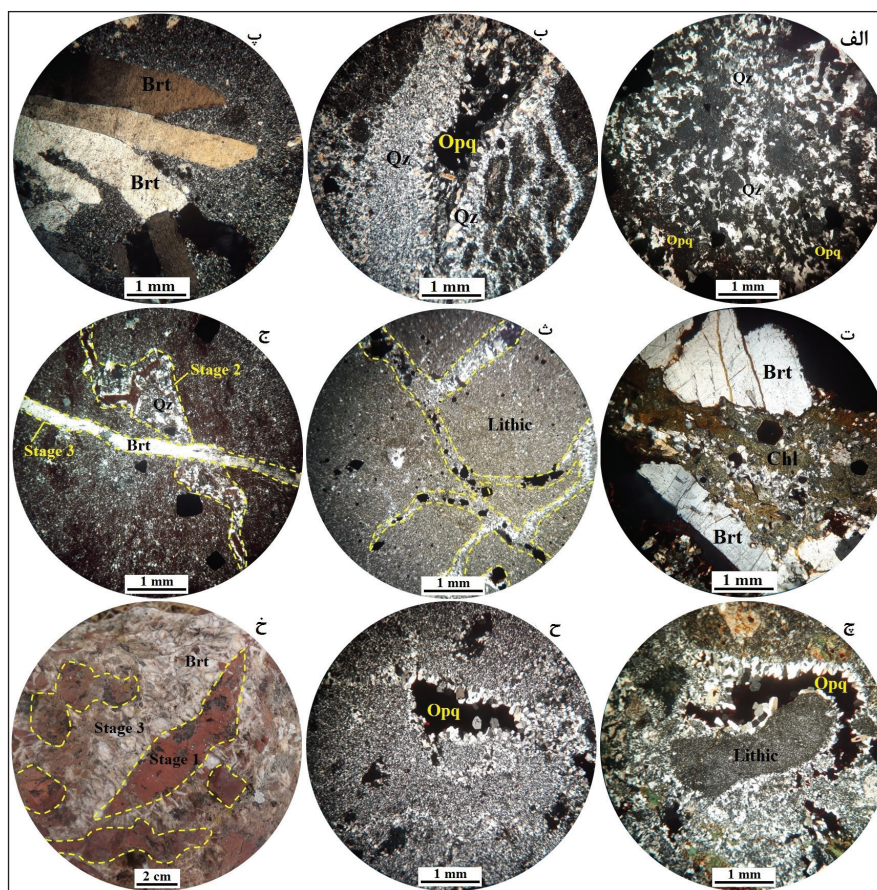
ب). مالاکیت حاصل فرایندهای برونزاد بوده و بیشتر به صورت پُرکننده حفرات و فضاهای خالی دیده می شود (شکل ۷-چ و ح). گوتیت حاصل فرایندهای دگرسانی برونزاد کالکوپیریت و پیریت بوده (شکل ۷-پ و ج) و گاه بافت کلوفرمی نشان می دهد (شکل ۷-خ).

کوارتز هم به صورت بلورهای ریز در سنگ میزبان سیلیسی شده (شکل ۸-الف) و هم به صورت بلورهای شکل دار در رگه- رگچه های کوارتزی کانه دار حضور دارد (شکل ۸-ب). ابعاد بلورهای شکل دار موجود در رگه- رگچه های کوارتزی ۲ تا ۲ میلی متر می رسد. باریت به صورت رگه- رگچه ای، سنگ میزبان سیلیسی شده و رگه- رگچه های کوارتزی کانه دار را قطع کرده است (شکل ۸-پ). ابعاد بلورهای باریت به چند سانتی متر می رسد. کلریت در همراهی با کوارتز، زمینه سیلیسی شده را تشکیل داده (شکل ۸-ت) و گاه به صورت رگچه ای مشاهده می شود.

نقاط، بلورهای پیریت در داخل کالکوپیریت مشاهده می شود (شکل ۷-ت) که بیانگر تشکیل پیریت پیش از کالکوپیریت می باشد. پیریت عمدتاً به صورت بلورهای خود شکل تا نیمه خود شکل ریز تا درشت دیده می شود (شکل ۸-ث). این کانی اغلب در زمینه سیلیسی شده با بافت دانه پراکنده حضور داشته و گاه در همراهی با کالکوپیریت و در داخل رگه- رگچه های کوارتزی مشاهده می شود. فراوانی پیریت در رگه های کوارتزی کمتر از کالکوپیریت می باشد. ابعاد بلورهای پیریت گاه تا ۲ میلی متر می رسد. پیریت ها عمدتاً سالم بوده و گاه از حاشیه ها به گوتیت تبدیل شده اند (شکل ۷-ج). شدت دگرسانی گاه به حدی است که پیریت به طور کامل توسط گوتیت جانشین شده و یا بقایایی از پیریت با بافت بازماندی در متن گوتیت مشاهده می شود. کوولیت و کالکوسیت حاصل فرایند دگرسانی کالکوپیریت بوده و با فراوانی کم در حاشیه های دگرسان شده این کانی دیده می شود (شکل ۷-الف و



شکل ۷- تصاویر میکروسکوپی از کانی های موجود در رخداد معدنی شمال چرگر. (الف) بلور بی شکل کالکوپیریت با دگرسانی برونزاد به گوتیت و کالکوسیت از حاشیه. (ب) بلور کالکوپیریت دگرسان شده برونزاد به کوولیت. (پ) کالکوپیریت با بافت بازماندی و جزیره ای در متن گوتیت. (ت) ادخال های پیریت در داخل کالکوپیریت. (ث) بلورهای شکل دار پیریت سالم در سنگ میزبان سیلیسی شده. (ج) پیریت جانشین شده توسط گوتیت و بقایای پیریت به صورت جزیره ای در متن گوتیت. (چ و ح) مالاکیت با بافت شعاعی و پُرکننده فضاهای خالی. (خ) گوتیت با بافت کلوفرمی در حاشیه حفرات سنگ. تصویر چ در نور عبوری پلاریزه صفحه ای (PPL)، تصویر ح در نور عبوری پلاریزه متقاطع (XPL) و بقیه تصاویر در نور بازتابی تهیه شده اند. علائم اختصاری کانی های از (Whitney and Evans (2010) اقتباس شده است. (Ccp: کالکوپیریت، Cct: کالکوسیت، Cv: کوولیت، Gth: گوتیت، Mlc: مالاکیت، Py: پیریت، Qz: کوارتز).



شکل ۵- الف) سیلیسی شدن سنگ میزبان و تشکیل پیریت به صورت دانه پراکنده در متن سیلیسی سنگ. ب) رگه-رگچه‌های کوارتزی کانه دار. پ) بلورهای درشت و شکل دار باریت در زمینه سنگ میزبان سیلیسی شده. ت) رگچه‌های کلریت کانه دار در همراهی با باریت‌های درشت بلور. ث) رگچه‌های کوارتزی کانه دار قطع کننده سنگ میزبان و تشکیل بافت برشی. ج) رگچه باریتی که رگچه‌های کوارتزی را قطع کرده است. چ) رشد بلورهای کوارتز به صورت کاکلی بر روی قطعه سنگ توفی. ح) رشد بلورهای کوارتز به صورت شانه‌ای در اطراف کانی کدر. خ) قطعات سنگ میزبان سیلیسی شده در متنی از باریت در مقیاس نمونه دستی. تصاویر میکروسکوپی در نور پلاریزه متقاطع (XPL) تهیه شده‌اند. علائم اختصاری کانی‌های از (Whitney and Evans 2010) اقتباس شده است. باریت: Brt، کلریت: Chl، قطعه سنگ، Opq: کانی کدر، Qz: کوارتز

۲-۵. ساخت و بافت کانه زایی

مطالعات انجام شده نشان می‌دهند که بافت مواد معدنی و باطله در منطقه مورد مطالعه از نوع دانه پراکنده، رگه- رگچه‌ای، برشی، کاکلی، شانه‌ای، جانشینی، بازماندی و پُرکننده فضاهای خالی است. بافت دانه پراکنده در بردارنده بلورهای پراکنده پیریت در متن سنگ میزبان سیلیسی شده (شکل ۷-ث) و همچنین کالکوپیریت و پیریت درون رگه- رگچه‌های کوارتزی است (شکل ۷-ب). بافت رگه- رگچه‌ای شامل رگه- رگچه‌های کوارتزی کانه دار (شکل ۸-ب، ث و ج) و همچنین رگه- رگچه‌های باریت (شکل ۸-پ، ت و ج) می‌باشد. بافت برشی محصول شکستگی سنگ میزبان سیلیسی و ورود سیالات گرمایی و تشکیل برش‌های کانه دار است (شکل ۸-ث، چ و خ). قطعات سنگ میزبان سیلیسی و کلریتی شده در متن رگه‌های کوارتزی نیز شاهده‌ای بر بافت برشی است (شکل ۸-چ). در اطراف برخی قطعات توفی موجود در بخش‌های سیلیسی شده، بلورهای کوارتز به صورت کاکلی رشد کرده‌اند (شکل ۸-چ). همچنین، رگه‌های کوارتزی در محل حفرات و شکستگی‌ها و اطراف برخی بلورهای کالکوپیریت، بافت شانه‌ای نشان می‌دهند (شکل ۸-خ). بافت پُرکننده فضاهای خالی غالباً در ارتباط با تشکیل کانی‌های مالاکیت و هیدروکسیدهای آهن در فضاهای خالی و شکستگی‌های

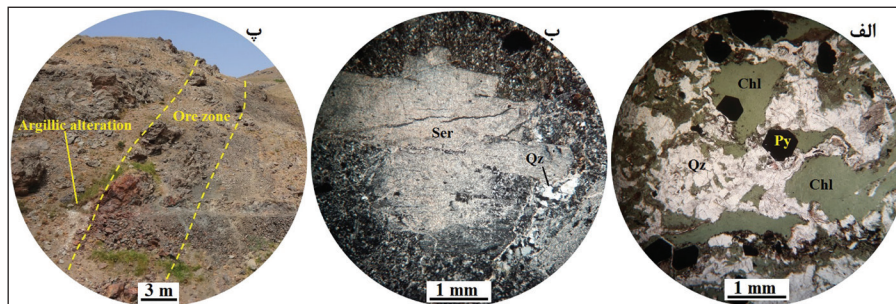
موجود در بخش کانه دار است (شکل ۷-چ و ح). بافت جانشینی محصول جانشینی کالکوپیریت و پیریت توسط کوولیت، کالکوسیت و گوتیت می‌باشد (شکل ۷-الف، ب، پ، ت و ج). در درجات بالای دگرسانی، تنها بقایایی از کانی پیریت و کالکوپیریت در متن گوتیت باقی مانده و بافت بازماندی تشکیل شده است (شکل ۷-ج).

۳-۵. دگرسانی

بر اساس نتایج مطالعات صحرایی و میکروسکوپی، دگرسانی در رخداد معدنی شمال چرگر شامل دگرسانی‌های سیلیسی، کلریتی، سریستی و آذرزیلیکی است. دگرسانی سیلیسی به صورت سیلیسی شدن سنگ میزبان (شکل ۸-الف) و همچنین رگه- رگچه‌های کوارتزی کانه دار (شکل ۸-ب) و رگچه‌های کوارتزی تأخیری بدون کانه زایی قابل مشاهده است. دگرسانی کلریتی عمدتاً به صورت پُرکننده فضای بین سیمان سیلیسی و گاه به صورت رگچه‌ای در رخداد معدنی مس- طلای شمال چرگر مشاهده می‌شود (شکل ۹-الف و ۸-ت). همچنین، در گدازه‌ها و واحدهای آتشفشانی- رسوبی دور از کانه زایی، دگرسانی به کلریت در کانی‌های مافیک اولیه سنگ مشاهده می‌شود (شکل‌های ۲-الف و ۳-چ). دگرسانی سریستی به صورت

رنگ سفید تا زرد آجری تظاهر داشته و از فواصل دور قابل مشاهده است (شکل ۹-پ). این دگرسانی در برخی نقاط با هیدروکسیدهای آهن همراهی می شود که باعث تیره تر شدن رنگ رخنمون های دگرسانی آرژیلیکی به رنگ قرمز آجری تا قهوه ای شده است.

سریستی شدن بلورهای پلاژیو کلاز سنگ های میزبان (شکل ۹-ب) و در بیرون از پهنه کانه زایی اصلی قابل مشاهده است. دگرسانی آرژیلیکی بیشتر در مقیاس صحرایی قابل مشاهده است. گسترش این نوع دگرسانی در ارتباط با واحدهای آتشفشانی می باشد که به



شکل ۹- الف) دگرسانی کلریتی در پهنه کانه دار حاوی بلورهای شکل دار پیریت (نور عبوری پلاریزه صفحه ای، PPL). ب) سریستی شدن پلاژیو کلازها و رگچه کوارتزی قطع کننده سنگ (نور عبوری پلاریزه متقاطع، XPL). پ) دگرسانی آرژیلیک در کمربالای پهنه کانه دار در مقیاس صحرایی (دید به سمت باختر). علائم اختصاری کانی های از (Whitney and Evans, 2010) اقتباس شده است. کلریت، Py؛ پیریت، Qz؛ کوارتز، Ser؛ سریست

۴-۵. مراحل کانه زایی و توالی پاراژنتیکی

براساس مطالعات صحرایی و میکروسکوپی انجام شده، کانه زایی مس-طلا در رخداد معدنی شمال چرگر به چهار مرحله به شرح زیر قابل تفکیک است.

الف) مرحله اول کانه زایی: این مرحله به صورت سیلیسی شدن سنگ میزبان آذرآواری قابل مشاهده است (شکل ۸-الف). این مرحله از کانه زایی شامل پیریت است که با بافت دانه پراکنده و عمدتاً به صورت بلورهای شکل دار در زمینه سیلیسی شده حضور دارد (شکل ۷-ث و ۸-الف). دگرسانی غالب در این مرحله، سیلیسی شدن می باشد که با مقداری دگرسانی سریستی و کلریتی همراهی می شود.

ب) مرحله دوم کانه زایی: این مرحله از کانه زایی شامل کالکوپیریت، پیریت و کوارتز است که به صورت رگه-رگچه ها و سیمان گرمابی برش ها رخ داده است (شکل ۸-ب، ث، ج و ح). کالکوپیریت اغلب به صورت بلورهای دانه درشت نیمه خود شکل تا بی شکل دیده می شود. پیریت از فراوانی کمتری نسبت به کالکوپیریت برخوردار است. کوارتزها معمولاً به صورت بلورهای درشت خود شکل تا نیمه خود شکل دیده شده و بافت های رگه-رگچه ای، شانه ای و کاکلی نشان می دهند (شکل ۸-ب، ث، ج، چ و ح). در این مرحله، دگرسانی کلریتی نیز تشکیل شده است که به صورت رگه-رگچه ای در همراهی با کوارتز مشاهده می شوند.

پ) مرحله سوم کانه زایی: این مرحله از کانه زایی با فراوانی باریت به صورت رگچه های منفرد و یا دسته رگچه های متقاطع مشخص می شود که مراحل پیشین کانه زایی (سیلیسی شدن و رگچه های سیلیسی کانه دار) را قطع کرده اند (شکل ۸-ج). در برخی نقاط، نفوذ رگه-رگچه های باریتی باعث برشی شدن سنگ میزبان سیلیسی شده مرحله قبلی شده است (شکل ۸-خ). ستبرای رگه های باریتی گاه تا ۱۰ سانتی متر می رسد. پیریت و کالکوپیریت به مقدار کمی در همراهی با رگه-رگچه های باریتی قابل مشاهده هستند.

ت) مرحله چهارم کانه زایی: این مرحله از کانه زایی مربوط به فرایندهای برون زاد بوده و سبب تشکیل مالاکیت، کوولیت، کالکوسیت و هیدروکسیدهای آهن به صورت شکافه پُرکن، جانیشینی و بازماندی شده است (شکل ۷).

براساس مطالعات صحرایی، نمونه دستی و میکروسکوپی، توالی پاراژنتی کانی ها در رخداد معدنی شمال چرگر را می توان به چهار مرحله تقسیم کرد. مرحله اول با حضور پیریت با بافت دانه پراکنده در متن سنگ میزبان سیلیسی شده مشخص

می شود. مرحله دوم با حضور کالکوپیریت به همراه مقداری پیریت در متن رگه-رگچه های کوارتزی با بافت های کاکلی، شانه ای و برشی دیده می شود. باریت تشکیل دهنده اصلی مرحله سوم کانه زایی است که به صورت رگه-رگچه های منفرد و یا دسته رگچه هایی مشخص می شود که مراحل پیشین کانه زایی را قطع کرده اند. مقادیر محدودی پیریت و کالکوپیریت در همراهی با باریت مشاهده می شود. مرحله چهارم کانه زایی مربوط به فرایندهای برون زاد بوده و با تشکیل مالاکیت، کوولیت، گوتیت و لپیدوکروسیت با بافت های شکافه پُرکن، جانیشینی و بازماندی مشخص می گردد. بر این اساس، توالی پاراژنتیکی کانی های معدنی و باطله در رخداد معدنی مس-طلا شمال چرگر را می توان در قالب جدول ۲ نشان داد.

۶- تیپ کانه زایی و مدل تشکیل رخداد معدنی مس-طلا شمال چرگر

با توجه به نتایج به دست آمده در این پژوهش و همچنین مقایسه ویژگی های زمین شناسی، کانی شناسی و ساخت و بافت ماده معدنی در منطقه مورد مطالعه با انواع کانسارهای مس، رخداد معدنی مس-طلا شمال چرگر شباهت زیادی با کانسارهای اپی ترمال فلزات پایه (تیپ سولفیداسیون متوسط) دارد. شواهدی از قبیل ۱) بافت های رگه-رگچه ای، برشی، کاکلی، شانه ای، جانیشینی، بازماندی و پُرکننده فضاهای خالی در بخش های کانه دار و مواد باطله؛ ۲) کانی های دگرسانی شامل کوارتز، باریت و کلریت و ۳) کانی های معدنی شامل کالکوپیریت و پیریت نشان می دهد که کانه زایی مس-طلا در رخداد معدنی شمال چرگر از نوع رگه ای اپی ترمال بوده و نتیجه ته نشست مواد از یک سیال گرمابی است (Kouhestani et al., 2018). در جدول ۳، ویژگی های زمین شناسی و کانه زایی مس-طلا در رخداد معدنی شمال چرگر با انواع کانسارهای اپی ترمال و در جدول ۴ با برخی از کانه زایی های اپی ترمال در زیرپهنه طارم-هشتجین مقایسه شده است.

براساس نتایج به دست آمده از مشاهدات صحرایی، مطالعات سنگ شناسی و کانه نگاری، روابط پاراژنتیک کانی ها و کانه ها، مراحل تکوین و تکامل کانه زایی مس-طلا در رخداد معدنی شمال چرگر را می توان به صورت مراحل زیر خلاصه کرد (شکل ۱۰): مرحله نخست با تشکیل توالی های آتشفشانی و آتشفشانی-رسوبی

توسعه زون‌های دگرسانی در منطقه، سبب شسته شدن مس- طلا از سنگ‌های مسیر (توالی ائوسن) و تمرکز مجدد آنها به صورت رگه‌های کانه‌دار شده است. احتمال اینکه بخشی از ماده معدنی و سیالات گرمایی از توده‌های گرانیتیویدی ائوسن پایانی منشأ گرفته باشد نیز وجود دارد. مرحله سوم با بالا آمدگی ناحیه و توسعه فرایندهای هوازدگی و فرسایش و شکل‌گیری ریخت-شناسی امروزی منطقه همراه است (شکل ۱۰-پ).

ائوسن همراه می‌باشد (شکل ۱۰-الف). در مرحله دوم، مجموعه سنگ‌های ائوسن منطقه تحت تأثیر نیروهای فشارشی چین خورده و شکستگی‌هایی در آنها ایجاد شده است (شکل ۱۰-ب). ادامه این مرحله، با نفوذ توده‌های گرانیتیویدی به سن ائوسن پایانی (آقازاده و همکاران، ۱۳۹۴) به داخل توالی‌های آتشفشانی و آتشفشانی-رسوبی ائوسن مشخص می‌شود (شکل ۱۰-ب). نفوذ توده‌های مزبور به عنوان موتور حرارتی عمل کرده و سبب چرخش آب‌های جوی در منطقه شده‌اند. این آب‌ها علاوه بر

جدول ۲- توالی پاراژنتیک، فراوانی نسبی و ساخت و بافت کانی‌های معدنی و باطله در رخداد معدنی مس- طلا شمال چرگر.

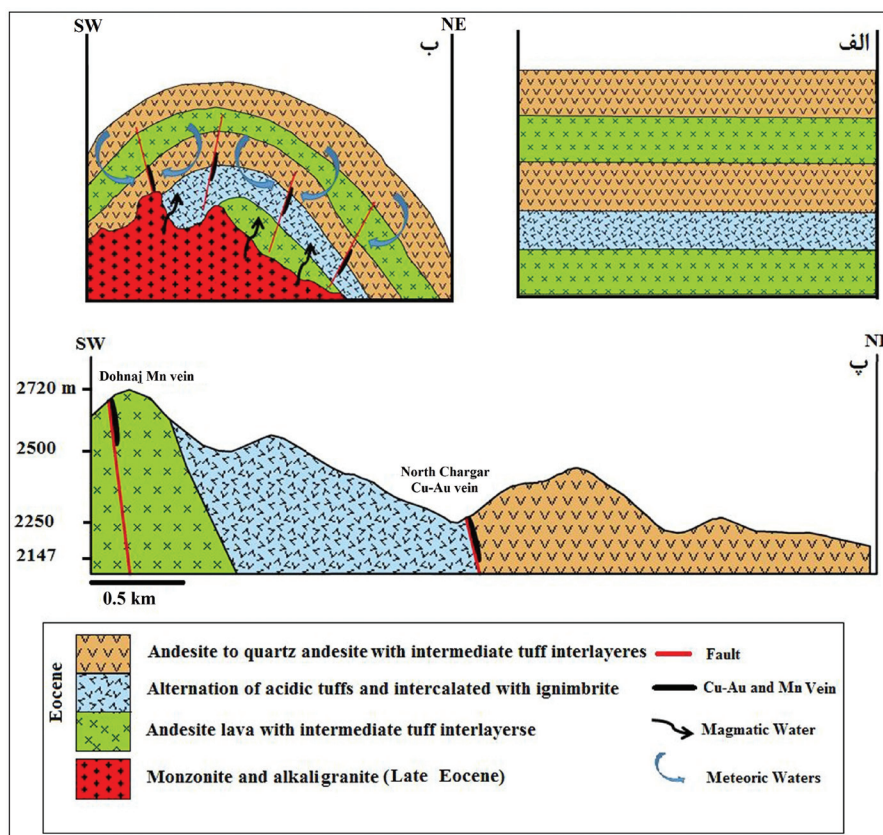
		Stage 1	Stage 2	Stage 3	Supergene
Minerals	Pyrite				
	Chalcopyrite				
	Barite				
	Quartz				
	Covellite				
	Goethite				
	Lepidocrocite				
	Malachite				
Alteration	Silicification				
	Chloritization				
	Sericitic				
	Argillic				
Texture	Vein-veinlets				
	Disseminated				
	Cockade				
	Comb				
	Brecciated				
	Open space filling				
	Replacement				
	Relict				

جدول ۳- مقایسه ویژگی‌های زمین‌شناسی و کانه‌زایی مس- طلا در رخداد معدنی شمال چرگر با انواع کانسارهای اپی ترمال.

موقعیت زمین‌ساختی	سولفیداسیون بالا	سولفیداسیون متوسط	سولفیداسیون پایین	مس- طلا شمال چرگر
حاشیه فعال قاره‌ای	حاشیه فعال قاره‌ای	حاشیه فعال قاره‌ای	حاشیه فعال قاره‌ای	حاشیه فعال قاره‌ای
سنگ میزبان	آندزیت، داسیت، کوارتز حفره‌ای، آرژیلیک پیشرفته، پروپلیتیک، سربستی	آندزیت، داسیت، ریولیت	آندزیت، ریوداسیت، ریولیت	توف و گدازه آندزیتی
دگرسانی گرمایی	کوارتز حفره‌ای، آرژیلیک پیشرفته، پروپلیتیک، سربستی	سربستی، آرژیلیک حدواسط، سیلیسی	سیلیسی، آرژیلیک حدواسط، پروپلیتیک	سیلیسی، کلریتی، سربستی، آرژیلیک
بافت ماده معدنی	کوارتز حفره‌ای، رگه‌ای، برشی، توده‌ای	پوسته‌ای، کلوفرم، جانشینی، کاکلی، شانه‌ای	پوسته‌ای، کلوفرم، جانشینی، کاکلی، شانه‌ای	رگه- رگچه‌ای، دانه پراکنده، کاکلی، شانه‌ای، برشی، شکافه پُرکن
پاراژنز کانیایی	انارژیت، پیریت، کالکوپیریت، لورزونیت، بورنیت، تنانتیت، گالن، اسفالریت، الکتروم، طلای آزاد	پیریت، اسفالریت، کالکوپیریت، گالن، آرسنوپیریت، الکتروم، سولفوسالت نقره، آکانتیت، سلنیت، تتراندزیت، تنانتیت	الکتروم، آکانتیت، پیریت، اسفالریت، کالکوپیریت، گالن، آرسنوپیریت، سولفوسالت نقره، سلنیت، تتراندزیت- تنانتیت	کالکوپیریت، پیریت
منابع	Sillitoe and Hedenquist (2003); Simmons et al. (2005)			
	مطالعه حاضر			

جدول ۴- مقایسه ویژگی‌های زمین‌شناسی و کانه‌زایی مس- طلا در رخدادهای شمال چرگر با کانسارهای اپی‌ترمال موجود در زیربهنه طارم- هشتجین.

موقعیت زمین‌ساختی	خلیفه‌لو	علی‌آباد- خانچای	آق‌کند	گلوجه	چودرچای	مس- طلا شمال چرگر
حاشیه فعال قاره‌ای	حاشیه فعال قاره‌ای	حاشیه فعال قاره‌ای	حاشیه فعال قاره‌ای	حاشیه فعال قاره‌ای	حاشیه فعال قاره‌ای	حاشیه فعال قاره‌ای
توالی توف و گدازه اسیدی	توالی توف و گدازه	توالی توف و گداز	توف حدواسط و آندزیت بازالتی	توف و گدازه حدواسط- اسیدی	توالی توف و گدازه حدواسط	توالی توف و گدازه حدواسط- اسیدی
سیلیسی، آرژیلیک، فیلیک، پروپلیتیک	سیلیسی، کلریتی، پروپلیتیک	سیلیسی، کلریتی، پروپلیتیک	سیلیسی، کلریتی، پروپلیتیک	سیلیسی، سربستی، پروپلیتیک، آرژیلیک	سربستی، آرژیلیک، پیشرفته، سیلیسی	سیلیسی، کلریتی، سربستی، آرژیلیک
کوارتز حفره‌ای، رگه- رگچه‌ای، برشی	رگه- رگچه‌ای، دانه پراکنده، برشی، شکافه پُرکن و جانشینی	رگه- رگچه‌ای، دانه پراکنده، برشی، جانشینی، کاکلی، قشرگون	رگه- رگچه‌ای، برشی، دانه پراکنده، شکافه پُرکن، جانشینی، کاکلی، قشرگون	شکافه پُرکن، برشی، حفره‌ای	رگه- رگچه‌ای، دانه پراکنده، جانشینی، بازماندی، شانه‌ای، برشی	رگه- رگچه‌ای، دانه پراکنده، کاکلی، شانه‌ای، برشی، شکافه پُرکن، جانشینی و بازماندی
کالکوپیریت، بورنیت، طلای آزاد	کالکوپیریت، پیریت	کالکوپیریت	کالکوپیریت	کالکوپیریت، پیریت، بورنیت، گالن، اسفالریت	کالکوپیریت، پیریت، گالن، اسفالریت	کالکوپیریت، پیریت
سولفیداسیون بالا	سولفیداسیون حدواسط	سولفیداسیون حدواسط	سولفیداسیون حدواسط	سولفیداسیون حدواسط	سولفیداسیون بالا	سولفیداسیون حدواسط
حسین‌زاده و همکاران (۱۳۹۵)	Kouhestani et al. (2018)	Kouhestani et al. (2017)	مهرابی و همکاران (۱۳۸۹)	Yasami and Ghaderi (2019)	مطالعه حاضر	



شکل ۱۰- تصاویر شماتیک از مراحل تکوین و تکامل کانه‌زایی در رخدادهای شمال چرگر. الف) تشکیل توالی آتشفشانی و آتشفشانی- رسوبی انوسن. ب) چین خوردگی واحدهای سنگی انوسن و نفوذ توده‌های گرانیتوئیدی انوسن پایانی به درون آنها. نفوذ این توده‌ها سبب چرخش آب‌های جوی و شکل‌گیری کانه‌زایی به صورت رگه‌های سیلیسی کانه‌دار درون واحدهای سنگی انوسن شده است. پ) فرسایش و شکل‌گیری فرم کنونی منطقه مورد مطالعه.

۷- نتیجه‌گیری

شواهدی از قبیل مشاهدات صحرایی، ساخت و بافت، سنگ میزبان، پاراژنز، زمین‌شیمی و الگوی دگرسانی‌ها در رخداد معدنی مس-طلای شمال چرگر نشان می‌دهد که این کانسار را می‌توان در ردیف کانسارهای اپی‌ترمال فلزات پایه (طلا) نوع سولفیداسیون حدواسط تقسیم‌بندی کرد. ویژگی‌های کانه‌زایی و دگرسانی در این کانسار شباهت زیادی با دیگر کانه‌زایی‌های اپی‌ترمال فلزات پایه (طلا) موجود در زیرپهنه طارم-هشتجین دارد. در هر حال، این مقایسه نیازمند اطلاعات دقیق ایزوتوپی (پایدار و سن‌سنجی) برای بسیاری از این کانه‌زایی‌ها است.

ژئومتری رگه‌ای بخش‌های کانه‌دار در رخداد معدنی مس-طلای شمال چرگر نشان می‌دهد که ساختارهای گسلی معبر اصلی برای عبور جریان سیالات کانه‌ساز بوده‌اند. از سوی دیگر، کانه‌زایی‌های متعدد فلزات پایه-گرانبهایی موجود در زیرپهنه طارم-هشتجین درون واحدهای آتشفشانی-رسوبی ائوسن و در ارتباط فضایی

نزدیک با توده‌های نفوذی این پهنه تشکیل شده است. از این رو، بررسی زون‌های گسلی موجود در توالی آتشفشانی-رسوبی ائوسن در زیرپهنه طارم-هشتجین به‌ویژه در مناطقی که مورد هجوم توده‌های نفوذی قرار گرفته‌اند، از نظر اکتشاف کانسارهای اپی‌ترمال فلزات پایه-گرانبهایی می‌تواند حائز اهمیت باشد. تعمیم شواهد به‌دست آمده از این مطالعات به مناطق مشابه در زیرپهنه طارم-هشتجین می‌تواند به شناسایی این نوع از کانی‌زایی‌ها منجر گردد.

سپاسگزاری

نویسندگان از حمایت‌های مالی دانشگاه زنجان برای انجام این پژوهش تشکر می‌نمایند. همچنین نویسندگان بر خود لازم می‌دانند از سردبیر و داوران محترم فصلنامه علوم زمین به‌خاطر راهنمایی‌های علمی ارزنده که منجر به غنای بیش‌تر مقاله حاضر گردیده است، کمال تشکر را داشته باشند.

کتابنگاری

- آفاباتی، س.ع، ۱۳۸۳- زمین‌شناسی ایران، انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۵۲۳ صفحه.
- آقازاده، م.م، بدرزاده، ز. و کاسترو، ا.، ۱۳۹۴- پروژنز و سن‌سنجی (U-Pb (SHRIMP) توده‌های نفوذی طارم. فصلنامه علوم زمین، شماره ۹۵، ص. ۲۰-۳.
- حسین‌زاده، م.ر.م، مغفوری، س.م، مؤید، م. و فرید اصل، و.، ۱۳۹۵الف- معرفی کانسار مس ماری به‌عنوان یک ذخیره چینه‌کران نوع مانتو در پهنه طارم، شمال غرب ایران. فصلنامه زمین‌شناسی ایران، شماره ۳۸، ص. ۳۷-۱۷.
- حسین‌زاده، م.ر.م، مغفوری، س.م، مؤید، م. و رحمانی، ا.، ۱۳۹۵ب- کانسار خلیفه‌لو: کانه‌زایی مس-طلای اپی‌ترمال سولفیداسیون بالا (High sulfidation) در پهنه ماگمایی خرم‌دره، شمال خرم‌دره. فصلنامه علوم زمین، شماره ۹۹، ص. ۱۹۴-۱۷۹.
- حسینی، م.م، موسوی، ا. و رسولی جمادی، ف.، ۱۳۹۵- نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰،۰۰۰ ابهر. سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- زمانیان، ح.، رحمانی، ش.، جان‌نثاری، م.ر.م، زارعی سهامیه، ر. و برنا، ب.، ۱۳۹۴- بررسی کانی‌سازی مس طلادار گرانیتوئید طارم (شمال زنجان) بر پایه شواهد کانی‌شناسی، ژئوشیمی و میانبار سیال. فصلنامه علوم زمین، سال ۲، شماره ۹۸، ص. ۲ تا ۲۸۲.
- سعیدی، ع.م، مختاری، م.ع.ا. و کوهستانی، ع.، ۱۳۹۷- سنگ‌شناسی و زمین‌شیمی توده‌های نفوذی منطقه خان‌چای-علی‌آباد (زیرپهنه طارم، خاور زنجان). پترولوژی، شماره ۳۳، ص. ۲۲۹-۲۰۷.
- شریعت‌بهادری، ا.، نباتیان، ق. و مختاری، م.ع.ا.، ۱۳۹۷- بررسی زمین‌شناسی، کانه‌زایی و ژئوشیمی کانسار منگنز دهنج، جنوب‌خاور زنجان. پنجمین همایش ملی گوه‌شناسی و بلورشناسی ایران. دانشگاه زنجان، زنجان ایران.
- فیضی، م.م، ابراهیمی، م.م، کوهستانی، ح. و مختاری، م.ع.ا.، ۱۳۹۵- زمین‌شناسی، کانه‌زایی و زمین‌شیمی رخداد معدنی مس آق‌کند (شمال زنجان، پهنه طارم-هشتجین). مجله زمین‌شناسی اقتصادی، جلد ۸، شماره ۲، ص. ۵۲۴-۵۰۷.
- قبری، ع.، ۱۳۹۵- گزارش پایان عملیات اکتشاف عناصر فلزی در محدوده دهنج. سازمان صنعت، معدن و تجارت استان زنجان، ۴۳ صفحه.
- کردیان، ش.م، مختاری، م.ع.ا.، کوهستانی، ح. و ویسه، س.، ۱۳۹۶- بررسی ویژگی‌های زمین‌شناسی، کانی‌شناسی و ساخت و بافت کانسار مگنتیت-آپاتیت گلستان‌آباد، خاور زنجان. بیست و پنجمین همایش بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران، دانشگاه یزد، یزد، ایران.
- مختاری، م.ع.ا.، کوهستانی، ح. و سعیدی، ع.، ۱۳۹۵- بررسی نوع و خاستگاه کانه‌زایی مس در رخداد معدنی علی‌آباد موسوی-خان‌چای، خاور زنجان، با استفاده از داده‌های سنگ‌شناسی، کانی‌شناسی و زمین‌شیمیایی. فصلنامه علوم زمین، شماره ۱۰۰، ص. ۲۷۰-۲۵۹.
- نباتیان، ق.، ۱۳۸۷- کانی‌شناسی، ژئوشیمی و ژئز کانسار اکسید آهن آپاتیت‌دار سرخه‌دیزج، جنوب شرق زنجان. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس.
- نباتیان، ق.، ۱۳۹۱- زمین‌شناسی، ژئوشیمی و تکامل کانسارهای اکسید آهن آپاتیت‌دار در کمربند آتشفشانی-نفوذی طارم، البرز باختری. رساله دکتری، دانشگاه تربیت مدرس.

References

- Aldanmaz, E., Pearce, J.A., Thirlwall, M.F. and Mitchell, J.G., 2000- Petrogenetic evolution of Late Cenozoic, post-collision volcanism in western Anatolia, Turkey. *J. Volcanol. Geoth. Res.*, 102: 67-95. doi:10.1016/S0377-0273(00)00182-7.
- Boynton, W.V., 1984- Geochemistry of Rare Earth Elements: Meteorite Studies. In: Henderson, P. (Ed.), *Rare Earth Element Geochemistry*, Elsevier, New York, 63-114.
- Fitton, J.G., James, D., Kempton, P.D., Ormerod, D.S. and Leeman, W.P., 1988- The role of lithospheric mantle in the generation of Late Cenozoic basic magmas in the western United States. *Journal of Petrology, Special Issue*, 1: 331-349. doi:10.1093/petrology/Special_Volume.1.331.
- Ghasemi Siani, M., Mehrabi, B., Azizi, H., Wilkinson, C.M. and Ganerod, M., 2015- Geochemistry and geochronology of the volcano-plutonic rocks associated with the Glojeh epithermal gold mineralization, NW Iran. *Open Geosciences*, 7: 207-222. doi:10.1515/geo-2015-0024.
- Hastie, A.R., Ker, A.C., Pearce, J.A., and Mitchell, S.F., 2007- Classification of altered volcanic island arc rocks using immobile trace elements: Development of the Th-Co discrimination diagram. *Journal of Petrology*, 48(12): 2341-2357. doi:10.1093/petrology/egm062.
- Kamber, B.S., Ewart, A., Colleson, K.D., Bruce, M.C. and McDonald, G.D., 2002- Fluid-mobile trace element constraints on the role of slab melting and implications for Archaean crustal growth models. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 144: 38-56. doi: 10.1007/s00410-002-0374-5.
- Kouhestani, H., Azimzadeh, A.M., Mokhtari, M.A.A. and Ebrahimi, M., 2017- Mineralization and evolution of epithermal base metal veins from the Aqkand deposit, NW Iran. *N. Jb. Miner. Abh.*, 194(2):139-155. doi:10.1127/njma/2017/0036.
- Kouhestani, H., Mokhtari, M.A.A., Chang, Z. and Johnson, C.A., 2018- Intermediate sulfidation type base metal mineralization at Aliabad-Khanchy, Taron- Hashtjin metallogenic belt, NW Iran. *Ore Geology Reviews*, 93: 1-18. doi:10.1016/j.oregeorev.2017.12.012.
- Kuscu, G.G. and Geneli, F., 2010- Review of post-collisional volcanism in the Central Anatolian volcanic province (Turkey), with special reference to the Tepekey volcanic complex. *International Journal of Earth Sciences*, 99(3): 593-621. doi:10.1007/s00531-009-0504-7.
- McDonough, W.F., Sun, S.S., 1995- The composition of the Earth. *Chemical geology*, 120(3-4): 223-253. doi:10.1016/0009-2541(94)00140-4.
- Mehrabi, B., Ghasemi Siani, M., Goldfarb, R., Azizi, H., Ganerod, M. and Marsh, E.E., 2016- Mineral assemblages, fluid evolution and genesis of polymetallic epithermal veins, Gulojeh district, NW Iran. *Ore Geology Reviews*, 78: 41-57. doi:10.1016/j.oregeorev.2016.03.016.
- Nabatian, G., Ghaderi, M., Daliran, F. and Rashidnejhad Omran, N., 2012- Sorkhe- Dizaj iron oxide- apatite ore deposit in the Cenozoic Alborz- Azarbaijan magmatic belt, NW Iran. *Resource Geology*, 63: 42-56. doi:10.1111/j.1751-3928.2012.00209.x.
- Nabatian, Gh., Ghaderi, M., Corfu, F., Neubauer, F., Bernroider, M., Prokofiev, V. and Honarmand, M., 2014- Geology, alteration, age and origin of iron oxide-apatite deposits in Upper Eocene quartz monzonite, Zanjan district, NW Iran. *Mineralium Deposita*, 49: 217-234. doi:10.1007/s00126-013-0484-1.
- Nabatian, G., Jiang, S.Y., Honarmand, M. and Neubauer, F., 2016- Zircon U-Pb ages, geochemical and Sr-Nd-Pb-Hf isotopic constraints on petrogenesis of the Taron-Olya pluton, Alborz magmatic belt, NW Iran. *Lithos*, 244: 43-58. doi:10.1016/j.lithos.2015.11.020.
- Pearce, J., 1996- A user guide to basalt discrimination diagrams. In: Wyman, D.A. (Eds.), *Trace element geochemistry of volcanic rocks: applications for massive sulfide exploration*. Geological Association of Canada, Short Course Notes, 12: 79-113.
- Schandl, E.S. and Gorton, M.P., 2002- Application of high field strength elements to discriminate tectonic settings in VMS environments. *Economic Geology*, 97(3): 629-642. doi:10.2113/gsecongeo.97.3.629.
- Sillitoe, R.H. and Hedenquist, J.W., 2003- Linkages between volcanotectonic settings, ore fluid compositions, and epithermal precious-metal deposits. *Economic Geology, Special Publication*, 10: 315-343. doi:10.5382/SP.10.16.
- Simmons, S.F., White, N.C. and John, D.A., 2005- Geological characteristics of epithermal precious and base metal deposits. In: Hedenquist, J.W., Thompson, J.F.H., Goldfarb, J.R. and Richards, J.P. (Eds.), *Economic Geology, 100th Anniversary Volume*, 485-522. doi:10.5382/AV100.16.
- Strivastava, R.K. and Sigh, R.K., 2004- Trace element geochemistry and genesis of Per-Cambrian sub-alkaline mafic dikes from the central Indian Craton: evidence for mantle metasomatism. *Journal of Asian Earth Science*, 23: 373-389. doi:10.1016/S1367-9120(03)00150-0.
- Whitney, D.L. and Evans, B.W., 2010- Abbreviation for names of rock- forming minerals. *American Mineralogist*, 95: 185-187. doi:10.2138/am.2010.3371.

- Wright, J.B. and McCurry, P., 1997- Geochemistry of calc-alkaline volcanic in northwestern Nigeria, and a possible Pan-African suture zone. Earth and Planetary Science Letters, 37: 90-96. doi:10.1016/0012-821X(77)90149-2.
- Yasami, N. and Ghaderi, M., 2019- Distribution of alteration, mineralization and fluid inclusion features in porphyry–high sulfidation epithermal systems: The Chodarchay example, NW Iran. Ore Geology Reviews, 104: 227–245. doi:10.1016/j.oregeorev.2018.11.006.
- Zamanian, H., Rahmani, Sh. and Zareisahamieh, R., 2019- Fluid inclusion and stable isotope study of the Lubin-Zardeh epithermal Cu-Au deposit in Zanjan Province, NW Iran: Implications for ore genesis. Ore Geology Reviews, 112; 10-114. Doi.org/10.1016/j.oregeorev.2019.103014.

Type and origin of the north Chargar Cu-Au mineralization, southeast of Zanzan: using petrological, mineralogical and geochemical data

F. Naderlou¹, M. A. A. Mokhtari^{2*}, H. Kouhestani² and Gh. Nabatian²

¹ M.Sc. Student, Department of Geology, University of Zanzan, Zanzan, Iran

² Associate Professor, Department of Geology, University of Zanzan, Zanzan, Iran

Received: 2019 May 21

Accepted: 2020 January 21

Abstract

North Chargar Cu-Au mineralization located within the Tarom-Hashtjin sub-zone. This area composed of andesite and quartz-andesite lavas alternated with tuffaceous rocks. The volcanic rocks have calc-alkaline nature and were formed in an active continental margin. Mineralization present as ore-bearing quartz vein-veinlets within a silicified zone. Based on mineralogical studies, chalcopyrite and pyrite are the main ore minerals, and malachite, covellite, chalcocite and goethite were formed by supergene processes. Quartz, barite and chlorite present as gangue minerals. Hydrothermal alterations include silicification, chloritization, sericitization and argillic. Ore and gangue minerals show disseminated, vein-veinlet, brecciated, cockade, comb, replacement, relict and open space filling textures. Based on field and microscopic studies, Cu-Au mineralization in the north Chargar can be divided into four stages: 1- the first stage is silicification of volcano-sedimentary host rock along with disseminated pyrite mineralization, 2- the second stage present as chalcopyrite and pyrite-bearing quartz vein-veinlets and hydrothermal breccia cement, 3- the third stage includes barite vein-veinlets crosscutting the previous stages of mineralization, 4- the last stage is related to supergene processes. Geological features, mineralogy and ore structure-textures in the north Chargar Cu-Au occurrence indicate most similarity with base metal epithermal (intermediate sulfidation) deposit type.

Keywords: Cu-Au mineralization, Epithermal, Intermediate sulfidation, Chargar, Tarom

For Persian Version see pages 149 to 162

*Corresponding author: M. A. A. Mokhtari; E-mail: amokhtari@znu.ac.ir