

منشأ رگه‌های پلی‌متال اپی‌ترمال در منطقه نیکویه (باختر قزوین) بر اساس مطالعات کانی‌شناسی، دگرسانی و میانبار سیال

سهیلا آقاجانی مرسا^۱، محمدهاشم امامی^۲، محمد لطفی^۳، کاظم قلی‌زاده^۴ و مجید قاسمی سیانی^۵

^۱ کارشناسی ارشد، آزمایشگاه کانی‌شناسی، مرکز تحقیقات فرآوری مواد معدنی ایران، تهران، ایران
^۲ دانشیار، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اسلام‌شهر؛ پژوهشکده علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، ایران
^۳ دانشیار، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال؛ پژوهشکده علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، ایران
^۴ دانشجوی دکترا، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران
^۵ دکترا، دانشکده علوم زمین، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۵/۱۲ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۸/۰۳

چکیده

رگه‌های کانه‌دار منطقه نیکویه در بخش جنوبی ایالت فلززایی طارم- هشتجین در پهنه البرز- آذربایجان (البرز باختری) قرار دارد. سنگ‌های آتشفشانی ریوداسیت و آندزیت/ آندزیت‌بازالت میزبان کانی‌سازی رگه‌ای در منطقه معدنی نیکویه هستند. دگرسانی‌های منطقه نیکویه شامل پروپلیتی، آرژیلی، سریستی و سیلیسی است که در پیرامون رگه‌ها در سنگ میزبان گسترش دارند. کانه‌زایی در این منطقه به دو شکل درون‌زاد و برون‌زاد در سه مرحله: مرحله آغازین شامل کانه‌های مگنتیت، پیریت، کالکوپیریت، بورنیت؛ مرحله میانی شامل کانه‌های گالن، اسفالریت و مقدار کمتر کالکوپیریت و مرحله پایانی متشکل از کانه‌های برون‌زاد مالاکیت، سروزیت، کوولیت، هماتیت و گوئیت رخ داده است. مطالعات میانبارهای سیال در کانی‌های کوارتز و کلسیت به ترتیب دمای همگن‌شدگی (Th) ۱۸۵ تا ۳۱۲ درجه سانتی‌گراد و ۱۳۳ تا ۲۵۱ درجه سانتی‌گراد را نشان داد. شوری میانبارهای سیال در نمونه‌های کوارتز، در محدوده ۰/۵ تا ۵/۵ درصد وزنی معادل نمک طعام و در نمونه‌های کلسیت در محدوده ۰/۳ تا ۵/۴ درصد وزنی معادل نمک طعام در تغییر است. همزیستی میانبارهای سیال غنی از مایع و غنی از بخار، برشی شدن، حضور کوارتز ریزیلورین، کلسدونی و کلسیت تیغه‌ای، سازوکار جوشش در منطقه نیکویه را نشان می‌دهد. جوشش و سرد شدن مهم‌ترین سازوکار کانه‌زایی در رگه‌های کانه‌دار هستند. مطالعات کانی‌شناسی، هاله‌های دگرسانی و میانبارهای سیال نشان داد که کانی‌سازی در منطقه معدنی نیکویه از نوع اپی‌ترمال سولفیداسیون پایین است.

کلیدواژه‌ها: کانی‌شناسی، دگرسانی، میانبارهای سیال، اپی‌ترمال، سولفیداسیون پایین، نیکویه.

***نویسنده مسئول:** سهیلا آقاجانی مرسا

E-mail: imprc.s@gmail.com

۱- پیش‌نوشتار

حرکات کوهزایی آلپ به‌صورت فعلی در آمده است. پهنه فلززایی طارم- هشتجین با روند شمال باختر- جنوب خاور در بخش باختری کمان البرز که به نام پهنه البرز- آذربایجان (البرز باختری) نیز شناخته شده و متشکل از سنگ‌های آذرین سنوزوییک و میزبان انواع کانی‌سازی عناصر مولیبدن، سرب، روی، طلا و مس است (شکل ۱). پهنه فلززایی طارم- هشتجین از ۴ واحد چینه‌شناسی سنگ‌های دگرگونی پرکامبرین، سنگ‌های دگرگونی کامبرین و پرمن، سنگ آهک و ماسه‌سنگ ژوراسیک تا کرتاسه و سنگ‌های آتشفشانی- نفوذی ائوسن تا الیگوسن تشکیل شده است (شکل ۲). پهنه فلززایی طارم- هشتجین متشکل از دو بخش کوه‌های هشتجین در بخش شمالی و کوه‌های طارم در بخش جنوبی است. منطقه معدنی نیکویه در بخش جنوبی پهنه فلززایی طارم- هشتجین در رشته کوه‌های طارم قرار دارد (شکل ۲). کوه‌های طارم به‌طور عمده از سنگ‌های آتشفشانی و آذرآوری (معادل سازند کرج) مربوط به دوره سنوزوییک تشکیل شده است. در این رشته کوه‌ها، توده‌های نفوذی بسیار با روند شمال باختری- جنوب خاوری به پیروی از روند کوه‌های طارم وجود دارند. این توده‌ها (توده باختر تاکستان، توده خراسانلو، توده ذاکر و توده چال)، بیشتر گرانودیوریتی هستند و در امتداد هم و در دو ردیف موازی، سنگ‌های آتشفشانی ائوسن را قطع کرده‌اند. در کوه‌های طارم، واحدهای پرکامبرین به‌صورت سنگ‌های دگرگونی و گرانیت در چند نقطه بیرون‌زدگی دارد. پالتوزوییک زیرین (کامبرین و اردویسین) و دونین بالایی و کربنیفر در کوه‌های طالش چندین رخنمون دارند. ژوراسیک به‌صورت سازند شمشک و آهک لار و کرتاسه به‌صورت آهک اریتولین دار است. مهم‌ترین واحدهای سنگی در کوه‌های طارم متشکل از واحدهای

کانه‌زایی نیکویه در باختر استان قزوین، در بخش جنوبی پهنه فلززایی طارم- هشتجین قرار گرفته است. پهنه فلززایی طارم- هشتجین در کمربند ماگمایی البرز باختری (پهنه ماگمایی البرز- آذربایجان)، در محل اتصال با کمربند ماگمایی ارومیه- دختر قرار دارد (Stocklin, 1968؛ افتخارنژاد، ۱۳۵۹؛ آقاجانی، ۱۳۸۳) (شکل ۱). چرخه ماگمایی البرز در ائوسن- الیگوسن سبب تشکیل مجموعه سترگی از سنگ‌های آذرین آتشفشانی، نفوذی، نیمه‌نفوذی و آذرآوری در پهنه فلززایی طارم- هشتجین شده که به کانه‌زایی‌های بسیاری در این پهنه انجامیده است (حاج‌علیلو، ۱۳۷۸؛ قربانی، ۱۳۸۶) (شکل ۲). در پهنه فلززایی طارم- هشتجین مطالعات زیادی صورت گرفته که از مهم‌ترین آنها می‌توان به احمدیان (۱۳۷۰)، مؤید (۱۳۷۰ و ۱۳۸۰)، حاج‌علیلو (۱۳۷۸)، حسینی (۱۳۷۴)، آسیابانها (۱۳۸۰)، پیروان (۱۳۸۱)، Nabatian et al. (2014) و Ghasemi Siani et al. (2015) اشاره کرد. با این حال تاکنون مطالعه‌ای روی منطقه معدنی نیکویه که در بخش جنوبی این پهنه جای گرفته و از چندین رگه پلی‌متال تشکیل شده، صورت نگرفته است. با توجه به اهمیت این پهنه از دید کانه‌زایی و نبود اطلاعات زمین‌شناسی در منطقه معدنی نیکویه، مطالعات کانی‌شناسی، هاله‌های دگرسانی و میانبارهای سیال در رگه‌های کانه‌دار صورت گرفته و در پایان ژنر کانساز تعیین شده است. نتایج این مقاله می‌تواند برای اکتشافات آتی در پهنه فلززایی طارم- هشتجین مورد استفاده قرار گیرد.

۲- زمین‌شناسی

رشته کوه البرز بخشی از رشته کوه‌های آلپ- هیمالیا است که به شکل تاقدیس طی

۲۰ نانو آمپر (nA) و با پرتو به قطر یک تا ۵ میکرون مورد مطالعه قرار گرفت. پس از تهیه مقاطع نازک، دیده شد که کوارتز و کلسیت دارای میانبراه‌های مناسب برای مطالعه هستند. بنابراین ۷ مقطع دوبرصقل با برش در راستای مناسب، از نمونه‌های برداشت شده در ارتباط با رگه‌های کانه‌دار در طول توالی پاراژنری تهیه و روی ۱۲۲ میانبار سیال در ۶ مقطع دوبرصقل مطالعات ریزدماسنجی انجام شد. مطالعات میانبارهای سیال در مرکز تحقیقات فرآوری مواد معدنی ایران با دستگاه گرمایش و سرمایش Linkam مدل THMS600 و میکروسکوپ نوری مدل ZEISS انجام شد. کالیبراسیون دستگاه در عملیات گرمایش برابر ± 0.6 تا دمای ۴۱۴ درجه سانتی‌گراد با ماده Cesium nitrate و در عملیات سرمایش برابر ± 0.2 تا دمای ۹۴/۳- درجه سانتی‌گراد و با مایع n-Hexane است.

۴- دگرسانی

دگرسانی گرمایی در منطقه معدنی نیکوییه را می‌توان به دو گروه دگرسانی‌های مرتبط با کانه‌زایی و دگرسانی‌های ناحیه‌ای در ارتباط با واحدهای آتشفشانی (دگرسانی کربناتی) تقسیم کرد. دگرسانی‌های مرتبط با کانه‌زایی در نزدیکی رگه‌ها شدیدتر هستند و پهنای هاله‌های دگرسانی از چند سانتی‌متر تا ۳ متر در اطراف رگه‌ها متغیر بوده و شامل پروپیلیتی، سریسیتی، آرژیلی و سیلیسی شدن است. در دگرسانی‌های مرتبط با کانه‌زایی در منطقه معدنی نیکوییه پهنه‌بندی به چشم می‌خورد؛ به طوری که در فاصله‌های نزدیک به رگه‌ها سیلیسی شدن و با فاصله از رگه به ترتیب پهنه سریسیتی، آرژیلی و پروپیلیتی دیده می‌شود. این مشاهدات نشان می‌دهد که سیال گرمایی در اثر عبور از گسل‌ها با کاهش دما روبه‌رو شده و در ابتدا، سیلیسی شدن و در پایان، پهنه پروپیلیتی با دمای کمتر تشکیل شده است.

دگرسانی سیلیسی در همسایگی بلافضل رگه‌ها دیده می‌شود (شکل ۴- الف) و در فاصله‌های دورتر قابل تفکیک نیست و به صورت رگه و رگچه و همچنین توده‌ای و پرکننده حفرات تشکیل شده است (شکل ۴- ب). بیشتر کانه‌زایی در پهنه سیلیسی شکل گرفته است. در پهنه سیلیسی، کوارتز ریزبلورین به صورت شکل‌دار تا نیمه‌شکل‌دار، سریسیت، ایلیت، همتایت و کانی‌های سولفیدی تشکیل شده است. پهنه سریسیتی در پیرامون پهنه سیلیسی دیده شده و در این پهنه بلورهای پلاژیوکلاز به صورت جزئی و در مواردی به طور کامل توسط مسکویت ریزبلور (سریسیت) و مقدار کمتر کربنات‌ها تشکیل شده است (شکل ۴- پ). کانی آدولاریا نیز در مطالعات پراش سنجی پرتو ایکس در این پهنه شناسایی شد که شاخصه کانسارهای اپی‌ترمال نوع سولفیداسیون پایین است. پهنه آرژیلی گسترش بالایی در پیرامون رگه‌ها دارد و سنگ‌های پیرامون آنها در مواردی کاملاً به کانی‌های رسی تبدیل شده است (شکل ۴- ت). در پهنه آرژیلی، در نزدیکی رگه کانی کائولینیت و با فاصله از رگه کانی‌های مونت‌موریلونیت، ایلیت و اسمکتیت تشکیل شده است. در این پهنه، پلاژیوکلاز به مونت‌موریلونیت، ایلیت و مقدار کمتر کائولینیت تجزیه شده است (شکل ۴- ث). پهنه پروپیلیتی در منطقه معدنی نیکوییه در دورترین فاصله نسبت به رگه‌ها تشکیل و با کانی‌های اپیدوت، کلسیت، کوارتز و زئولیت مشخص شده است. کانی‌سازی از نوع پراکنده به صورت ضعیفی در این پهنه صورت گرفته است. پاراژنرهای دیده شده در این پهنه شامل کلریت + اپیدوت + کلسیت + کوارتز و کلریت + اپیدوت + اکسید آهن + زئولیت + کلسیت است. در این پهنه، کانی‌های پلاژیوکلاز، پیروکسن و الیون به کلریت، اپیدوت، زئولیت و کلسیت تبدیل شده‌اند (شکل ۴- ج). دگرسانی پروپیلیتی در سنگ‌های حدواسط و مافیک نسبت به سنگ‌های اسیدی گسترش بیشتری دارد (Gemmell, 2004 & 2006)؛ به طوری که این دگرسانی در منطقه معدنی نیکوییه با توجه به ماهیت سنگ میزبان کانه‌زایی، گسترش بیشتری نسبت به دیگر پهنه‌ها دارد.

آذرآواری ائوسن (آندزیت، ریولیت، بازالت، آندزیت‌بازالت و ریوداسیتی همراه با توف برشی و توف آندزیتی) است. در کوه‌های طارم نیز مانند ایران مرکزی و البرز مرکزی حرکات پالتوسن با خروج سنگ‌های آتشفشانی زیردریایی پالتوسن ادامه یافته است (معین‌وزیری، ۱۳۷۵). از دید زمین‌شناسی، رخنمون‌های سنگی منطقه نیکوییه، متشکل از مجموعه سنگ‌های آذرآواری با سن ائوسن با ترکیب آندزیت تا ریوداسیت و توف است (علائی‌مهابادی و فنودی، ۱۳۷۷) (شکل ۳). این مجموعه تحت تأثیر نفوذ توده‌های نیمه‌ژرف الیگومیوسن شامل گرانودیوریت، مونزودیوریت، مونزوگرانیت پورفیری قرار گرفته است. واحد کریستال‌توف شیشه‌ای، لیتیک توف و ریوداسیت در بخش جنوب منطقه رخنمون دارد. این واحد دارای ستبرایی میان ۲۰۰ تا ۵۰۰ متر و بافت ویتروکلاستیک بوده و ترکیب آن شامل بلورهای پلاژیوکلاز از نوع الیگوکلاز، آلپیت، فلدسپار قلیایی، بیوتیت و پیروکسن است. کانی‌های ثانویه آن شامل اپیدوت، کلریت، سریسیت، کلسیت و کانی‌های رسی است (شکل ۳). واحد کوارتز آندزیتی، آندزیت و آندزیت‌بازالت قهوه‌ای تیره با ستبرایی بیش از ۸۰۰ متر در بخش مرکزی و در واحد ریوداسیتی در منطقه رخنمون دارد. بافت آنها پورفیریتیک و گلوپورفیریتیک است و متشکل از پلاژیوکلاز (لابرادوریت تا الیگوکلاز) و آلپیت شکل‌دار تا نیمه‌شکل‌دار با ابعاد ۰/۵ تا ۲ میلی‌متر هستند که توسط کلریت، اکسید آهن، اپیدوت و کلسیت جانشین شده‌اند (شکل ۳). این دو واحد، میزبان رگه‌های کانی‌سازی شده در منطقه معدنی نیکوییه به شمار می‌روند. گدازه‌های بازالت با ترکیب بازیگ با ستبرای ۵۰۰ متر در مرکز منطقه رخنمون دارد و در سطوح هوازده به رنگ خاکستری تا تیره و در سطوح تازه شکست نیز به رنگ تیره دیده می‌شوند (شکل ۳). پلاژیوکلاز از نوع بیوتونیت - لابرادور به عنوان درشت‌بلور در این سنگ تبلور یافته است. پیروکسن از نوع کلینوپیکروکسن شکل‌دار تا بی‌شکل است و طی دگرسانی کلریتی شدن به کلریت تبدیل شده است. لایه‌های نازک توف و توف برشی با ستبرای ۲۰۰ متر به همراه میان‌لایه‌های بازالت و آندزیت بازالت در بخش شمالی منطقه مورد مطالعه رخنمون دارد (شکل ۳). سنگ نهشته‌های این واحد، بیشتر ردیفی از سنگ‌های آذرآواری شیشه‌ای (توف) است که در سطوح هوازده به رنگ‌های ارغوانی تا سیاه دیده می‌شود. از ویژگی‌های میکروسکوپی این توف‌ها، وجود بلورهای فلدسپار و مواد رسی ریزبلورین در زمینه است که در این زمینه، درشت‌بلورهای پلاژیوکلاز و فلدسپار پتاسیک به همراه بلورهای بی‌شکل پیروکسن و کانه‌های تیره تشکیل شده است. واحدهای کوارتزنی شامل رسوبات سست و سخت نشده است که به شکل واریزه واحدهای آتشفشانی، خاک‌های برجا و رسوبات بستر آبراه‌ها دیده می‌شوند و همراه با کنگلومرا بخش سترگی از منطقه معدنی نیکوییه را تشکیل داده‌اند. گسل‌ها در منطقه دارای سه روند باختری - خاوری، شمال باختری - جنوب خاوری و شمال خاوری - جنوب باختری هستند (شکل ۳).

۳- روش مطالعه

۷ مقطع دوبرصقل با برش در راستای مناسب، از نمونه‌های برداشت شده در ارتباط با رگه‌های کانه‌دار تهیه و پس از گردآوری اطلاعات اولیه و مطالعات دفتری، نمونه‌برداری از رگه‌های کانه‌دار زون‌های دگرسانی انجام شد. از نمونه‌های برداشت شده، ۴۵ مقطع صیقلی، نازک - صیقلی و نازک تهیه و توسط میکروسکوپ نوری پلاریزان ZEISS مدل Axioplan 2 با نور عبوری و بازتابی در مرکز تحقیقات فرآوری مواد معدنی ایران مطالعه شد. مطالعات تکمیلی‌تر روی نقاط مشخص شده در مرحله مطالعه میکروسکوپی به روش SEM در مرکز تحقیقات فرآوری مواد معدنی ایران با دستگاه مدل (SEM 1450 VP) انجام شد. نقاط مشخص شده در بررسی مطالعات SEM، برای مطالعات EPMA در این مرکز به وسیله دستگاه میکروپروب مدل CAMECA X 100 با شرایط ۲۰ کیلو الکترون ولت (Kev) و

۵- کانه‌زایی و کانی‌شناسی

توسط مطالعات میکروسکوپ الکترونی (شکل ۷)، ۷۲ تجزیه نقطه‌ای روی کانه‌های پیریت، کالکوپیریت، بورنیت، اسفالریت، گالن و کانه‌های برونزاد انجام شد که نتایج آن در جدول ۱ ارائه شده است. نتایج نشان داد که عیار طلا در کالکوپیریت تمرکز بیشتری نشان می‌دهد. به طوری که بیشترین مقدار طلا در کالکوپیریت ۰/۱۱ درصد است. طلای آزاد یا ترکیبات طلا در مقاطع دیده نشد. ترکیب بورنیت همانند ترکیب استکومتری آن بوده و ویژگی آشکار و شاخصی نشان نداده است. همچنین در گالن ادخال از کانه‌های سولفوسالتی و کانه‌های نقره‌دار دیده نشد و مقدار نقره در گالن قابل توجه نیست. بیشترین مقدار نقره در کالکوپیریت و به میزان ۰/۲۳ درصد به دست آمد. در تجزیه نقطه‌ای پیریت هیچ گونه فاز ثانوی دیده نشد. پیریت با ترکیب پایدار آهن برابر ۴۷/۲ تا ۴۷/۵ درصد وزنی بوده و دارای مقدار کمی آرسنیک است (کمتر از ۰/۱ درصد وزنی). نتایج تجزیه نقطه‌ای کانه‌های برونزاد نشان داد که ترکیب آنها همانند ترکیب استکومتری آنهاست. از ویژگی‌های آشکار ترکیب اسفالریت درصد کم مقدار آهن در ترکیب آن است (میانگین ۰/۱ درصد وزنی).

۶- میانبارهای سیال

پس از بررسی رگه‌های کانه‌دار و مطالعه مقاطع نازک مشخص شد که کانی‌های باطله کوارتز و کلسیت همراه با کانه‌های فلزی، برای مطالعات میانبارهای سیال مناسب هستند. از این رو ۵ نمونه از کوارتز و ۲ نمونه کلسیت با توجه به توالی پاراژنری و کانه‌زایی (مرحله اول و دوم) برای تهیه مقاطع دوبرصیقل انتخاب شد و از آنها ۱۲۲ سیال درگیر از ۶ مقطع مناسب (یکی از مقاطع کوارتز جهت مطالعه مناسب نبوده است) مورد مطالعه قرار گرفت. ابتدا مطالعات سنگ‌نگاری میانبارهای سیال و پس از تعیین انواع میانبارها، رده‌بندی ژنتیکی و تهیه عکس‌های مناسب، مطالعات سرمایش و گرمایش صورت گرفت.

۶-۱. سنگ‌نگاری میانبارهای سیال

بر پایه معیارهای Roedder (1984) میانبارهای سیال در منطقه مورد مطالعه، از هر ۳ نوع اولیه، ثانویه و شبه ثانویه هستند که در این مقاله تنها میانبارهای سیال اولیه دوفازی غنی از مایع و غنی از گاز مورد مطالعات ریزدماسنجی قرار گرفته است. اندازه میانبارهای مورد مطالعه، در حدود ۵ تا ۴۴ میکرون و بیشترین فراوانی در محدوده ۵ تا ۱۵ میکرون است (شکل ۸). این میانبارها، بیشتر به شکل‌های بلور منفی (Negative Crystal)، کشیده، کروی و بی‌شکل دیده شدند که انواع کشیده و کروی فراوانی بیشتری دارند (شکل ۸). بر این اساس، ۴ نوع میانبار سیال شامل میانبارهای تک‌فازی مایع (L)، میانبارهای دوفازی غنی از مایع (L+V)، میانبارهای تک‌فازی گاز (V) و میانبارهای دوفازی غنی از گاز (V+L) در دمای اتاق تشخیص داده شد. میانبارهای سیال دوفازی غنی از مایع، دارای ۷۰ تا ۸۰ درصد مایع و ۲۰ تا ۳۰ درصد بخار و میانبارهای سیال دوفازی غنی از گاز، دارای ۹۵ درصد بخار و ۵ درصد مایع هستند. میانبارهای سیال دوفازی غنی از گاز به صورت همزیست با میانبارهای غنی از مایع دیده می‌شوند (شکل ۸) که به باور Roedder & Bodnar (1980) این نشان می‌دهد که میانبارهای سیال در زمان به دام افتادن در شرایط جوشش بوده‌اند. نبود میانبارهای تک‌فازی مایع در کنار این میانبارها، فرضیه تشکیل میانبارهای دوفازی غنی از گاز را بر پایه پدیده Necking processes (باریک‌شدگی) رد و پدیده جوشش را تأیید می‌کند (Bodnar et al., 1985). هیچ فاز کانی نوزاد (Daughter Minerals) و همچنین پدیده کلاتریت در میانبارهای سیال مورد مطالعه دیده نشد (Collins, 1979).

۶-۲. نتایج میانبارهای سیال

نتایج ریزدماسنجی میانبارهای سیال در منطقه معدنی نیکویی در جدول ۲ خلاصه شده است. دمای آخرین نقطه ذوب یخ ($T_{m,ice}$) در نمونه‌های کوارتز در محدوده

کانه‌زایی سرب، روی و مس در منطقه معدنی نیکویی به صورت توده‌ای، برشی (شکل ۵-الف)، رگه و رگچه، پراکنده (شکل ۵-ب) و پراکنده فضای خالی است. بافت‌های کلوform، جانیشینی، تیغهای و اسفرویدال نیز در نمونه‌های میکروسکوپی دیده شده است. کانه‌زایی در منطقه، از دو رگه اصلی (رگه شماره ۱ و رگه شماره ۲) و چندین رگه و رگچه فرعی تشکیل شده است (شکل ۳). کانی‌شناسی رگه‌ها همانندی زیادی با یکدیگر دارد و متشکل از کانه‌های فلزی برونزاد و برونزاد است. رگه شماره ۱ طولانی‌ترین رگه موجود در محدوده با روند باختری-خاوری (همروند با گسل اصلی در منطقه) بوده و دارای درازای کلی ۱۵۰۰ متر و ستبرای میان ۱ تا ۳ متر (ستبرای متوسط ۲ متر) است. شیب این رگه در بخش باختری، حدود ۶۰ تا ۷۵ درجه و در بخش مرکزی و خاوری حدود ۸۵ درجه به سوی شمال است. این رگه از تعداد زیادی رخنمون ناپیوسته سیلیسی تشکیل شده که طولانی‌ترین رخنمون آن حدود ۲۰۰ متر طول دارد. این رگه در بخش مرکزی به وسیله گسل جابه‌جا شده است. سنگ میزبان رگه‌های معدنی، توف و گدازه‌های آندزیت/آندزیت‌بازالت و ریوداسیتی است که در بیشتر بخش‌ها دگرسان شده است. رگه شماره ۲ در بخش خاوری محدوده مورد مطالعه و انتهای خاوری رگه شماره ۱ جای گرفته است. طول رگه تقریباً ۶۰ متر با ستبرای ۱ تا ۳ متر است. امتداد این رگه شمال باختر-جنوب خاور با شیب ۶۰ تا ۸۰ درجه به سوی شمال خاور است. این رگه بیشتر از کوارتز و کلسیت تشکیل شده که مقدار کلسیت در برخی بخش‌ها تا ۵۰ درصد رگه را نیز شامل می‌شود. رگه شماره ۲ در سنگ میزبان آندزیتی تشکیل شده است. مطالعات کانه‌زایی نشان داد که کانی‌شناسی در نیکویی به دو صورت درونزاد و برونزاد تشکیل شده است. کانه‌های درونزاد شامل گالن، اسفالریت، پیریت، کالکوپیریت، بورنیت و مگنتیت و کانه‌های برونزاد شامل کوولیت، اکسید و هیدروکسیدهای آهن، کالکوسیت، سروزیت و مالاکیت هستند. کوارتز و کلسیت باطله‌های اصلی منطقه معدنی نیکویی هستند.

بر پایه مطالعات صحرائی، بررسی نمونه‌های دستی، مطالعات میکروسکوپی، میکروسکوپ الکترونی SEM و EPMA و بر پایه روابط بافتی موجود میان کانه‌ها و کانی‌ها در کانسار نیکویی توالی پاراژنری رسم شد (شکل ۶)؛ که بر پایه آن کانه‌زایی به ۳ مرحله تقسیم شده است که شامل: مرحله اول) کوارتز، کلسیت همراه با مگنتیت، پیریت، بورنیت و کالکوپیریت (شکل‌های ۵-پ، ت و ث)، مرحله دوم) گالن خودشکل و اسکلتی‌شکل، اسفالریت و مقدار کم کالکوپیریت (شکل‌های ۵-ج، چ و ح) همراه با باطله کوارتز و کلسیت و مرحله سوم) کانی‌سازی برونزاد (کوولیت، اکسید و هیدروکسیدهای آهن، کالکوسیت، سروزیت و مالاکیت) است (شکل ۵-خ). نخستین مرحله کانه‌زایی با تشکیل شکستگی‌ها در منطقه و کانه‌زایی مگنتیت، پیریت، بورنیت و کالکوپیریت به همراه کلسیت و کوارتز در این شکستگی‌ها همراه است. پیریت بیشتر به صورت نیمه‌خودشکل به همراه کالکوپیریت دیده می‌شود و رگه و رگچه‌های بورنیت در کالکوپیریت تشکیل شده‌اند. بافت اکسلوشن کالکوپیریت و بورنیت در این مرحله دیده شده است. بلورهای پیریت تحت تأثیر رخدادهای زمین‌ساختی در منطقه به شدت خرد شده هستند (شکل ۵-ث). مرحله دوم کانه‌زایی سرب و روی است. گالن و اسفالریت همراه با یکدیگر تشکیل و در مواردی ادخال‌هایی از گالن در اسفالریت و یا برعکس تشکیل شده است. کالکوپیریت به صورت پراکنده و بی‌شکل، گالن و اسفالریت را به مقدار کمتر همراهی می‌کند. در برخی از بلورهای گالن تغییر شکل‌هایی در رخ‌های مثلثی شکل آنها دیده می‌شود (شکل ۵-ج) که معرف رخداد زمین‌ساختی پس از کانه‌زایی است (Downes, 2006). در مرحله سوم، فرایند هوازدگی برونزاد به‌ویژه در سطح بالایی رگه‌ها رخ داده و کانه‌های فلزی برونزاد تشکیل شده است. در این مرحله کالکوپیریت و پیریت از حاشیه و در امتداد شکستگی‌ها به گوتیت تبدیل شده‌اند.

برای تعیین ژرفای از میانگین دمای همگن‌شدگی و شوری در هر مرحله کانه‌زایی استفاده شده است. به همین منظور بر پایه شکل ۱۱-ب ژرفای کانی‌سازی برای مراحل ۱، ۲ و ۳ به ترتیب ۱۳۰۰، ۵۷۵ و ۲۰۵ متر به دست آمده است.

۷-۲. مدل و عوامل مؤثر بر تشکیل رگه‌های کانه‌زایی

نمودار دمای همگن‌شدگی در برابر شوری بر پایه (Wilkinson, 2001) جوشش و سرد شدن سیال را به عنوان سازوکارهای کانه‌زایی در منطقه معدنی نیکوییبه نشان می‌دهد. با توجه به نمودار دمای همگن‌شدگی، پیک‌های دمایی در میان دماهای ۱۸۰ تا ۲۲۰ درجه و ۲۴۰ تا ۲۸۰ درجه سانتی‌گراد مشخص است. بنابراین می‌توان گفت که کانی‌زایی در مرحله اول (کانه‌زایی مس) در یک دمای ۲۴۰ تا ۲۸۰ درجه سانتی‌گراد و شوری ۴/۵ تا ۵/۵ درصد وزنی معادل نمک طعام، در مرحله دوم در یک دمای ۱۸۰ تا ۲۲۰ درجه سانتی‌گراد و شوری ۰/۵ تا ۱ درصد وزنی معادل نمک طعام و سرانجام در مرحله سوم در یک دمای کم و شوری کم طی فرآیند پروژناد تشکیل شده است. نمودار دمای همگن‌شدگی - شوری نشان می‌دهد که در طی زمان از مقدار دما و شوری سیال‌های کانه‌زا کاسته شده که به دلیل آمیختگی با آب‌های جوی است. جوشش، سازوکار مهم کانه‌زایی در مرحله اول و سرد شدن، سازوکار مهم کانه‌زایی در مرحله دوم به شمار می‌آید. مطالعات میان‌بارهای سیال، کانی‌شناسی و دگرسانی نشان داد که کانه‌زایی در منطقه معدنی نیکوییبه در رده کانسارهای اپی‌ترمال قرار می‌گیرد.

به منظور تعیین مدل کانسار، ویژگی‌های رگه‌های کانه‌دار نیکوییبه با انواع کانسارهای اپی‌ترمال مقایسه شده است (جدول ۳). از دید کانی‌شناسی، وجود کوارتز ریزبلورین و کلسیت تیغه‌ای نشان‌دهنده سیال‌های در حال جوشش است که در کانسارهای با سولفیداسیون پایین معمول است. کانی‌سازی چیره در رگه‌های سیلیسی - کربناتی دیده می‌شود و شامل گالن، کالکوپیریت، بورنیت، مگنتیت، اسفالریت، پیریت و کانه‌های پروژناد است. حجم کم سولفید (۵ درصد حجمی) و حجم بالای کربنات یکی از نشانه‌های بسیار شاخص و مهم در شناسایی کانی‌زایی نوع سولفیداسیون پایین است (Sillitoe & Hedenquist, 2003). حضور کانی انارژیت و لوزونیت (Einaudi et al., 2003)، دگرسانی‌های کوارتز- آلونیت، کوارتز- پیروفیلیت و کوارتز- دایکیت (Sillitoe & Hedenquist, 2003)؛ حضور کانی کالکوسیت و کوولیت اولیه که از ویژگی‌های کانسارهای با سولفیداسیون بالا است در رگه‌های نیکوییبه دیده نشده است. حضور کانی‌هایی مانند تنانتیت و تتراهدريت و مقدار نقره بالا که در کانسارهای اپی‌ترمال سولفیداسیون متوسط معمول است، در منطقه نیکوییبه دیده نشده است (Sillitoe & Hedenquist, 2003). دگرسانی‌های نوع آرژیلی، سیلیسی، پروبیلیتی و سریستی مهم‌ترین دگرسانی‌های موجود در محدوده نیکوییبه هستند. وجود آدولاریا همراه با پهنه‌های دگرسانی از شواهد اپی‌ترمال سولفیداسیون پایین است. بافت برشی رگه‌های کانه‌دار در کانی‌زایی‌های نوع سولفیداسیون پایین معمول است که در منطقه نیکوییبه دیده شده است. شوری و دمای رگه‌های کانه‌دار نیکوییبه نیز متناسب با کانسارهای اپی‌ترمال سولفیداسیون پایین است. در سامانه‌های اپی‌ترمال، نقره و فلزات پایه توسط کمپلکس‌های کلروری (Seward & Barnes, 1997; Palyanova, 2008) و طلا توسط کمپلکس بی‌سولفیدی حمل می‌شوند (Benning & Seward, 1996). افزایش pH و رقیق‌شدگی سیال توسط آب‌های جوی و افزوده شدن Ca^{2+} به سیال، سبب بی‌ثباتی کمپلکس‌های کلروری و ته‌نشین شدن فلزات پایه می‌شود (Palyanova, 2008). عواملی مانند جوشش و کاهش دما سبب ته‌نشینی فلزات از کمپلکس‌های بی‌سولفیدی می‌شود (Palyanova, 2008). ارتباط میان داده‌های Tm_{cc} و Th در منطقه نیکوییبه، روند سردشدگی را نشان می‌دهد. در رگه‌های کانه‌دار نیکوییبه، در مرحله اول جوشش رخ داده و سبب ته‌نشینی فلزات شده است. آنچه در نیکوییبه مهم است، دیده نشدن طلای آزاد در مقاطع است. با توجه به نوع سولفیداسیون پایین و شوری کم سیال و همچنین جوشش انتظار می‌رود

۰/۳ تا ۳/۴- درجه سانتی‌گراد مطابق با شوری ۰/۵ تا ۵/۵ درصد وزنی نمک طعام و در نمونه‌های کلسیت در محدوده ۰/۲ تا ۳/۳- درجه سانتی‌گراد مطابق با شوری ۰/۳ تا ۵/۴ درصد وزنی نمک طعام بر پایه رابطه Bodnar (1993) به دست آمد (شکل‌های ۹-الف و ب). دمای همگن‌شدگی (Th) در میان‌بارهای سیال کوارتز در محدوده ۱۸۵ تا ۳۱۲ درجه سانتی‌گراد و در کلسیت در محدوده ۱۳۳ تا ۲۵۱ درجه سانتی‌گراد به دست آمده است (شکل‌های ۹-ج و د). دمای اوتکتیک (Te) به دست آمده از بیشتر میان‌بارهای سیال در محدوده ۲۱/۲- تا ۳۰- درجه سانتی‌گراد است که نشان می‌دهد سیال در سامانه $H_2O-NaCl$ است. در میان‌بارهای دوفازی غنی از گاز نیز دمای همگن‌شدگی در محدوده ۲۷۰ تا ۳۱۲ درجه سانتی‌گراد به دست آمده است (شکل ۹-ج). گفتنی است که شوری این نوع میان‌بارها به دلیل حجم زیاد گاز و ریز بودن اندازه آنها به دست نیامده است. بر پایه نمودار شوری و دمای همگن‌شدگی ۲ نوع سیال کانه‌ساز در نمونه‌های کوارتز تشخیص داده شده است (شکل ۹): ۱) سیال با شوری کمتر در محدوده ۰/۵ تا ۱ درصد وزنی معادل نمک طعام و پیک دمای ۲۰۰ تا ۲۲۰ درجه سانتی‌گراد؛ ۲) سیال با شوری بالاتر در محدوده ۴/۵ تا ۵/۵ درصد وزنی معادل نمک طعام و پیک دمای بیشتر ۲۴۰ تا ۲۸۰ درجه سانتی‌گراد است. پیک شوری و دمای همگن‌شدگی برای میان‌بارهای سیال در کلسیت به ترتیب در محدوده ۲ تا ۳ درصد وزنی نمک طعام و ۱۸۰ تا ۲۲۰ درجه سانتی‌گراد است. احتمالاً سیال با شوری و دمای کمتر مربوط به آب‌های جوی و سیال با شوری و دمای بالاتر مربوط به سیال ماگمایی و یا سیال‌های پوسته‌ای ژرف است (Camprubi et al., 2006). نمودار شوری- دمای همگن‌شدگی نشان می‌دهد که دامنه تغییرات در امتداد یک روند خطی بوده که با توجه به نمودار Wilkinson (2001) سرد شدن سیال رخ داده که احتمالاً به دلیل آمیختگی با آب‌های جوی و یا واکنش با سنگ‌های دیواره است (شکل ۱۰-الف). پدیده جوشش که در میان‌بارهای سیال (همزیستی میان‌بارهای دوفازی غنی از گاز و مایع) و همچنین شواهد میکروسکوپی (کلسیت تیغه‌ای، برشی شدن، کوارتز ریزبلورین و کلسدون) تأیید شده نیز به عنوان سازوکار کانه‌زایی افزون بر سرد شدن در نظر گرفته شده است. مقایسه نتایج حاصل از مطالعات ریزدماسنجی در منطقه نیکوییبه با نمودار ارائه شده توسط Large et al. (1988) نشان می‌دهد که داده‌های میان‌بارهای سیال در محدوده کانسارهای اپی‌ترمال جای گرفته‌اند (شکل ۱۰-ب).

۷-۲ بحث

۷-۱. محاسبه چگالی، فشار و ژرفای میان‌بارهای سیال

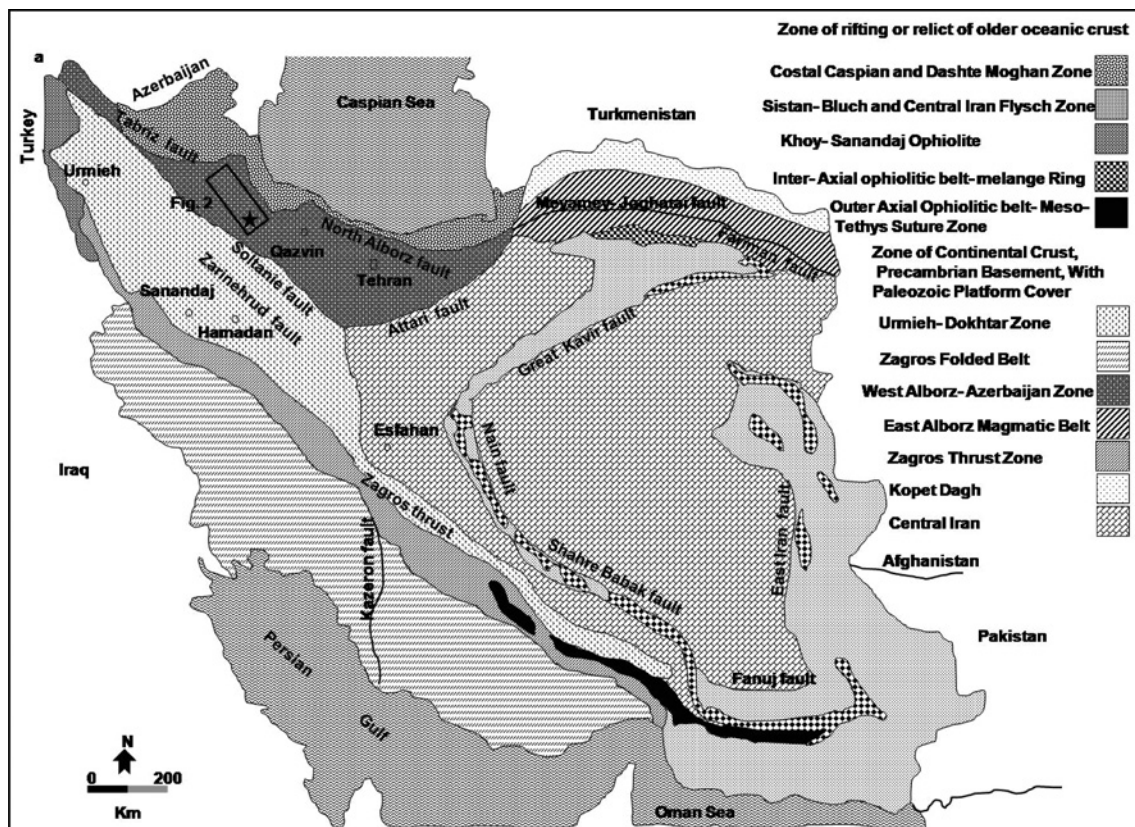
به باور Wilkinson (2001) هنگامی که اطلاعات دمای همگن‌شدگی با اطلاعات حاصل از داده‌های شوری روی یک نمودار ترکیب رسم شوند، می‌توان چگالی سیال را بدون توجه به شرایط به دام افتادن آن تعیین کرد. یک نمودار مناسب برای این منظور، نمودار دوتایی دمای همگن‌شدگی - شوری توسط Wilkinson (2001) است که در آن خطوط کنتوری با چگالی ثابت رسم شده است (شکل ۱۱ الف). بر این اساس، میان‌بارهای سیال در منطقه معدنی نیکوییبه چگالی برابر ۰/۷ تا ۰/۹۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب دارند. به منظور تعیین ژرفای کانی‌سازی از نمودار دما- ژرفای Haas (1971) استفاده شد. همزیستی میان‌بارهای سیال غنی از مایع و غنی از گاز، حضور کلسدون، کوارتز ریزبلورین و کلسیت تیغه‌ای، بافت کلورفرم و برشی شدن، پدیده جوشش را در میان‌بارهای سیال منطقه معدنی نیکوییبه تأیید می‌کند (White & Hedenquist, 1995; Hedenquist et al., 2000). اگر در میان‌بارهای سیال جوشش رخ دهد برای محاسبه فشار، نیازی به تصحیح فشار نیست زیرا دمای همگن‌شدگی برابر با دمای تشکیل کانسار است (Roedder & Bodnar, 1980). بر همین اساس، فشارهای محاسبه شده برای منطقه نیکوییبه در محدوده ۴، ۴۰ و ۹۷ بار به ترتیب برای مرحله سوم، دوم و اول کانه‌زایی است. با توجه به وجود شواهد جوشش،

اسفالریت و مقدار کم کالکوپیریت همراه با باطله کوارتز و کلسیت؛ مرحله سوم) شامل کانی‌سازی برونزاد (کولیت، اکسید و هیدروکسیدهای آهن، کالکوسیت، سرویت و مالاکیت)، مطالعات نمونه‌ها توسط میکروسکوپ الکترونی، طلا و نقره آزاد را شناسایی نکرد. بیشترین مقدار طلا و نقره در کالکوپیریت تجزیه شد. مقدار آهن در اسفالریت در منطقه معدنی نیکویه کم (۰/۱ درصد وزنی) است که مختص کانسارهای اپی‌ترمال نوع سولفیداسیون پایین هستند. دگرسانی‌های موجود در منطقه معدنی ارتباط تنگاتنگی با دگرسانی‌های موجود در کانسارهای نوع اپی‌ترمال دارد. دگرسانی‌های نوع سیلیسی، سریستی، آرژیلی و پروپیلیتی مهم‌ترین دگرسانی‌های موجود در محدوده نیکویه و محدود به پیرامون رگه‌ها هستند. مطالعات XRD که روی نمونه‌های برداشت شده از رگه‌ها (پهنه سریستی و آرژیلی) انجام شد وجود آدولاریا را که یکی از شواهد محیط‌های سولفیداسیون پایین است نشان داد. با توجه به محدوده دمای همگن‌شدگی ۱۳۳ تا ۳۱۲ درجه سانتی‌گراد و شوری ۰/۳ تا ۵/۵ درصد وزنی معادل نمک طعام، منطقه معدنی نیکویه در محدوده کانسارهای اپی‌ترمال جای می‌گیرد. کانی‌سازی در این منطقه از نوع فلزات پایه اپی‌ترمال با سولفیداسیون پایین است که رقیق‌شدگی، سردشدگی و جوشش عامل اصلی نهشت کانسنگ نیکویه بوده است.

که طلا نیز ناپایدار و ته‌نشین شود. نتایج ژئوشیمیایی در برخی از بخش‌های رگه‌ها، طلا را نیز تا ۲ گرم در تن نشان داده است. بنابراین احتمال می‌رود که طلا به صورت آزاد و یا درگیر تشکیل شده باشد. مطالعات و بررسی‌های بیشتر برای کانه‌زایی احتمالی طلا در منطقه معدنی نیکویه الزامی به نظر می‌رسد. سردشدگی و جوشش در مرحله دوم سبب شده است تا کانه‌زایی سرب و روی رخ دهد. سردشدگی و اضافه شدن Ca^{2+} به سیال سبب شده تا حجم سترگی از رگه‌های کرنات در رگه‌های کانه‌دار به‌ویژه همراه با کانه‌زایی مرحله دوم وجود داشته باشد. با توجه به کم بودن شوری سیال، شرایط برای تشکیل کانه‌های فلزی نقره‌دار مهیا نیست و بر همین اساس، گالن بدون ادخال‌های کانه‌های نقره‌دار است. در پایان نیز در اثر هوازدگی برونزاد در ۴۰ متر بالایی رگه‌ها کانه‌های برونزاد تشکیل شده است.

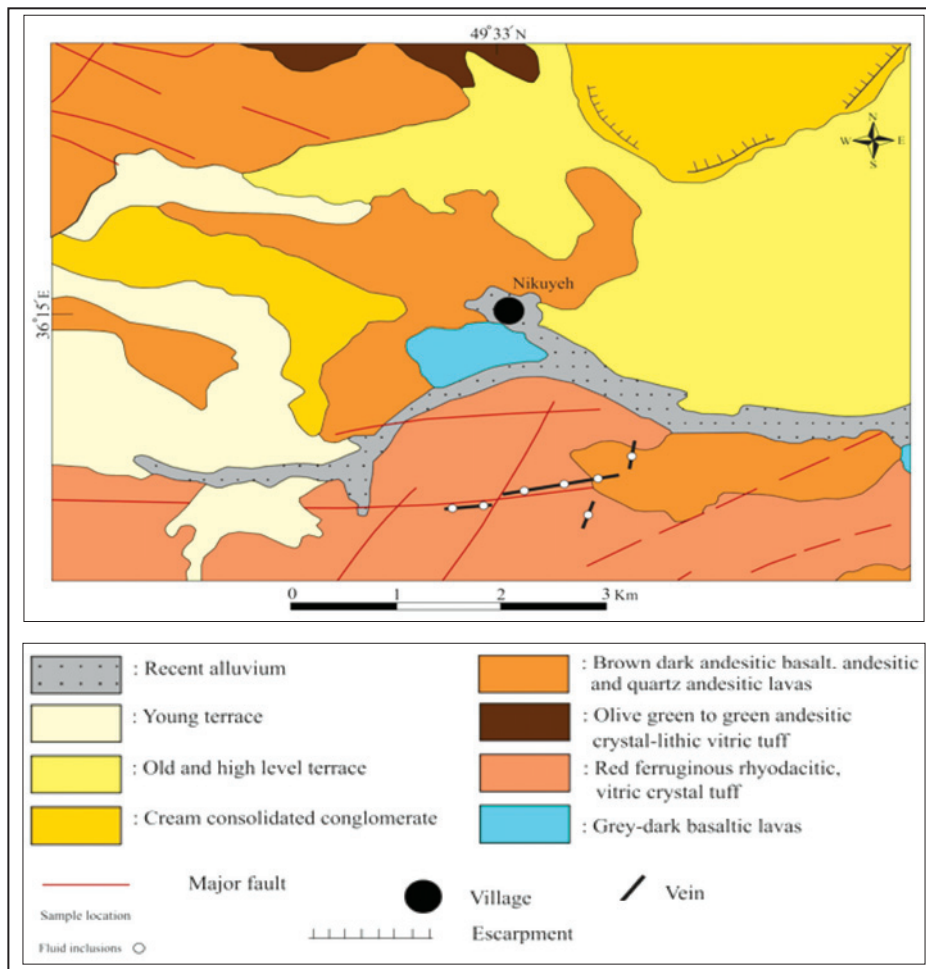
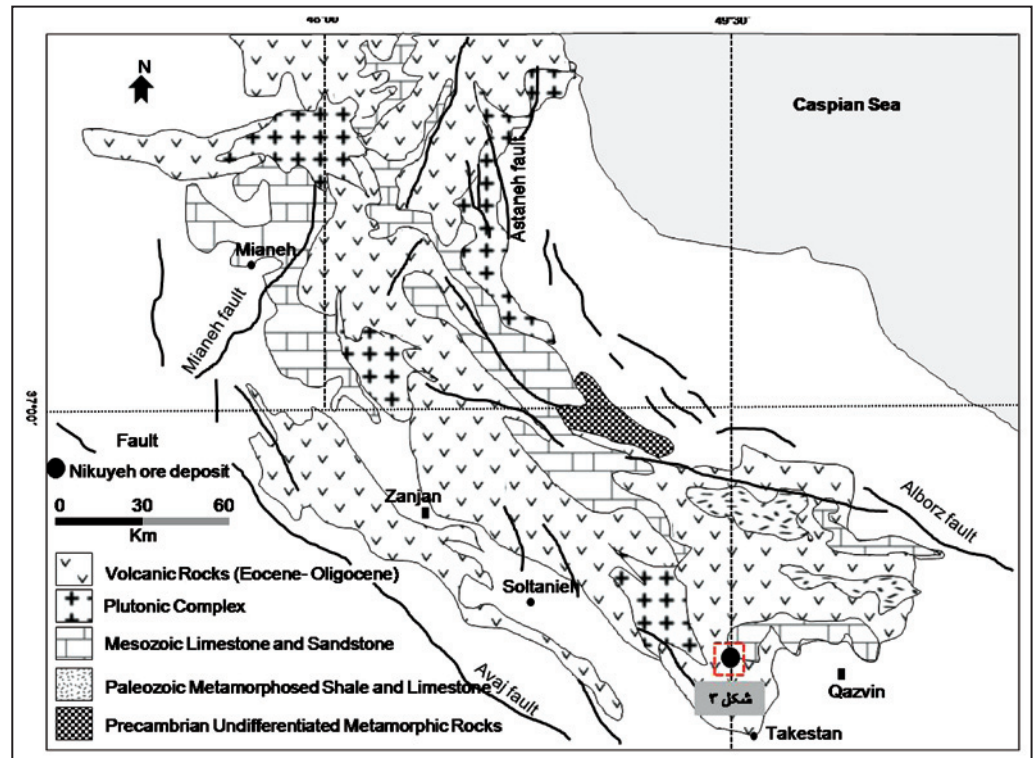
۸- نتیجه‌گیری

رگه‌های کانه‌دار منطقه نیکویه در بخش جنوبی ایالت فلزایی طارم-هشتجین در پهنه البرز-آذربایجان (البرز باختری) قرار دارد. کانه‌زایی در رگه‌های منطقه نیکویه در ۳ مرحله رخ داده است: مرحله اول) کوارتز، کلسیت همراه با مگنتیت، پیریت، بورنیت و کالکوپیریت؛ مرحله دوم) شامل گالن خودشکل و اسکلتی شکل،

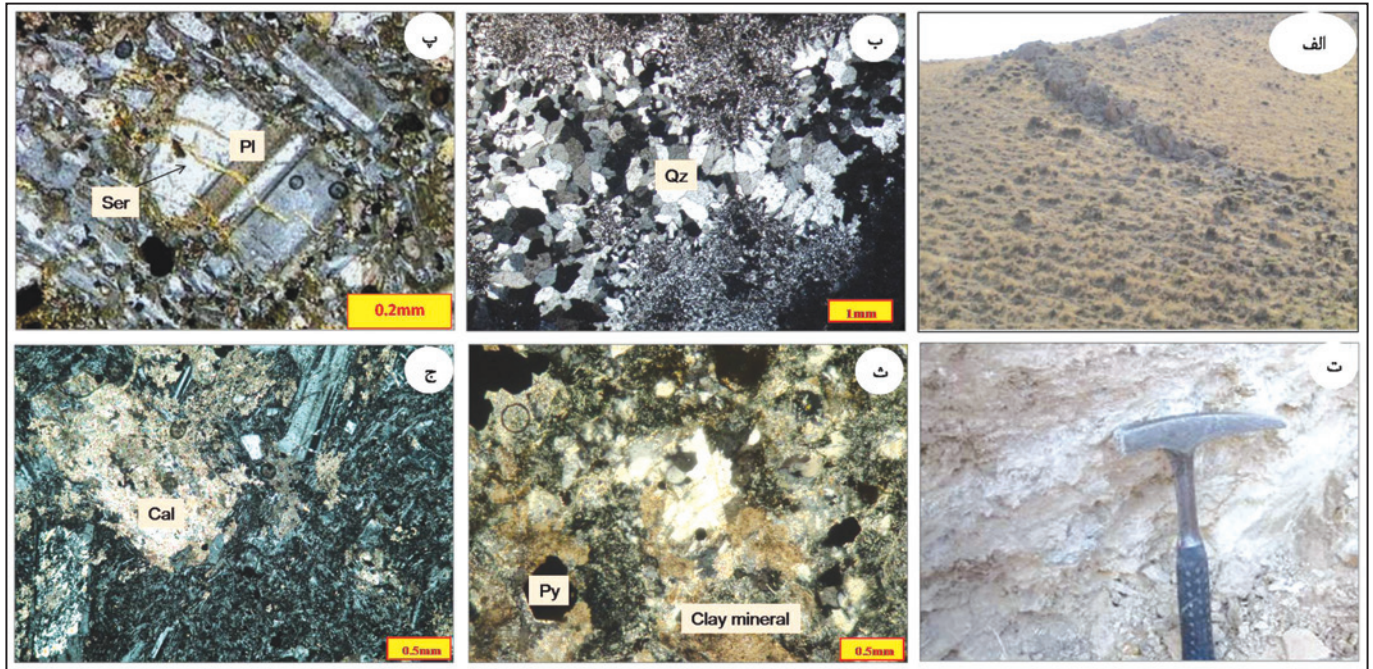


شکل ۱- تقسیم‌بندی واحدهای ساختاری- ماگمایی ایران (افتخارنژاد، ۱۳۵۹). موقعیت منطقه مورد مطالعه با نشانه ستاره مشخص شده است. این منطقه در بخش جنوبی پهنه فلزایی طارم-هشتجین در البرز باختری جای گرفته که در شکل ۲ نشان داده شده است.

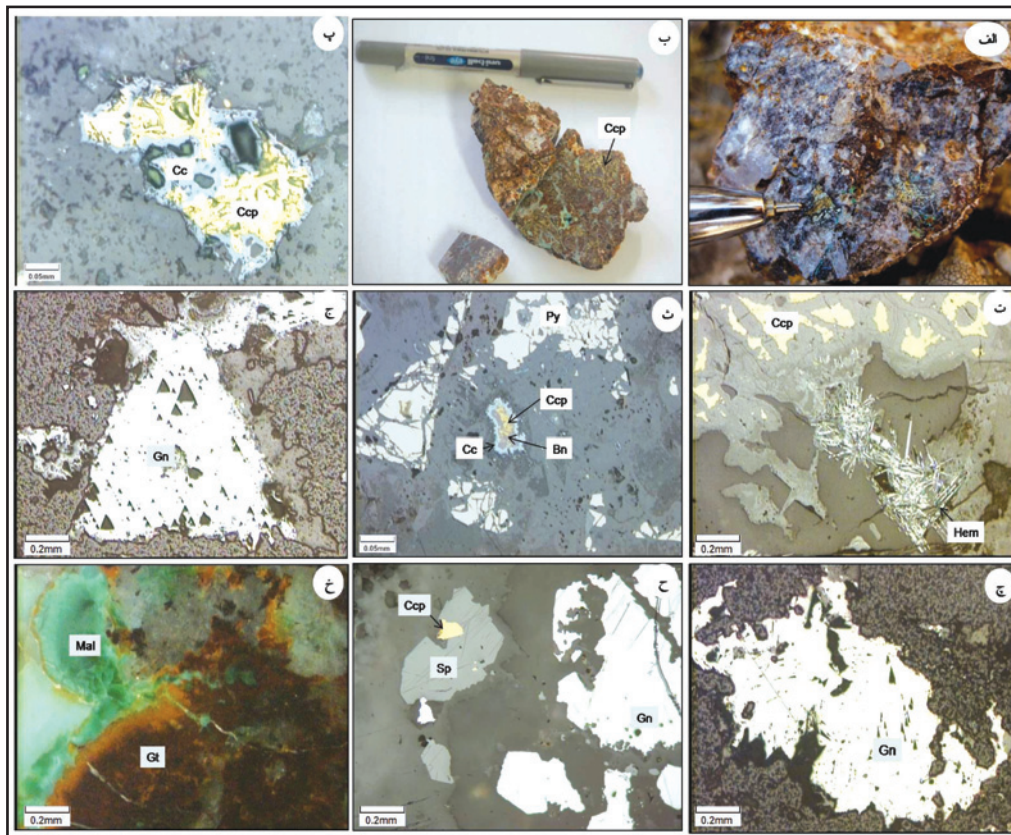
شکل ۲- نمایی کلی از پهنه فلززایی طارم- هشتجین و نمایش واحدهای زمین‌شناسی و منطقه معدنی نیکویی که در باختر قزوین در بخش جنوبی پهنه فلززایی طارم- هشتجین جای گرفته است (با تغییرات از قربانی (۱۳۸۶)).



شکل ۳- نقشه زمین‌شناسی منطقه معدنی نیکویی (با تغییرات از علائی مهابادی و فنودی (۱۳۷۷)). موقعیت رگه‌ها و نمونه‌های میانبارهای سیال در نقشه نشان داده شده است.



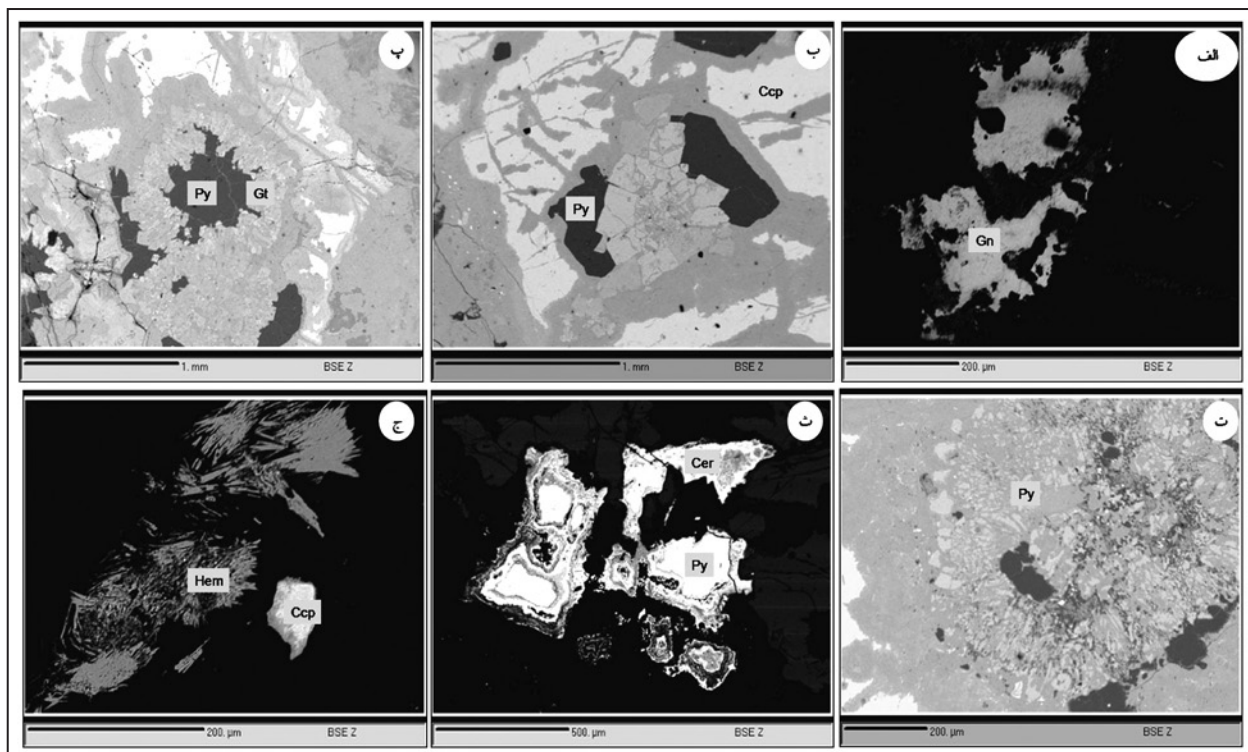
شکل ۴- تصاویر صحرایی و میکروسکوپی از دگرسانی‌های پیرامون رگه‌های منطقه معدنی نیکویی. الف) رگه سیلیسی کانه‌دار شماره ۱ در منطقه معدنی نیکویی با روند خاوری-باختری؛ ب) کوارتزهای کراستفرم (Qz) به صورت پرکننده حفرات در رگه‌های سیلیسی؛ پ) بلورهای پلاژیو کلاز (Pl) به کربنات و سریسیت (Ser) (مسکوویت ریزبلور) تبدیل شده است؛ ت) دگرسانی شدید آرزلی در پیرامون رگه‌های کانه‌دار؛ ث) تشکیل کانی‌های رسی (Clay mineral) و پیریت (Py) در دگرسانی آرزلی؛ ج) تبدیل پلاژیو کلاز به کلسیت (Cal) در دگرسانی پروپیلیتی.



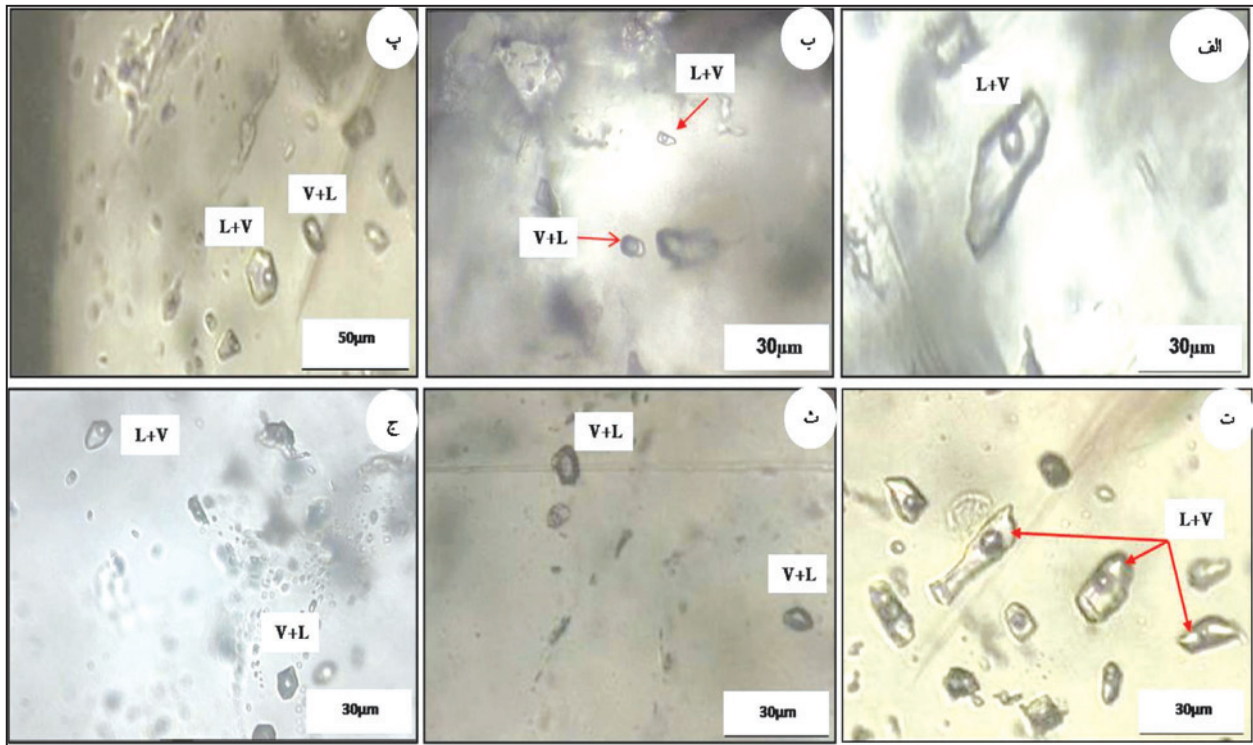
شکل ۵- تصاویر نمونه دستی و میکروسکوپی از کانه‌زایی منطقه معدنی نیکویی. الف) کانه‌زایی توده‌ای گالن و کالکوپیریت در منطقه معدنی نیکویی؛ ب) کانه‌زایی کالکوپیریت به صورت پراکنده در رگه‌های سیلیسی؛ پ) بلورهای کالکوپیریت از حاشیه به کالکوسیت تبدیل شده است؛ ت) کانه‌زایی کالکوپیریت همراه با اکسید و هیدرواکسیدهای آهن؛ ث) کانه‌زایی کالکوپیریت، بورتیت و پیریت در مرحله اول؛ ج) تاح کانه‌زایی فلزات پایه گالن، اسفالریت و کالکوپیریت در مرحله دوم؛ خ) کانه‌زایی برونزاد گوتیت و مالاکیت در مرحله سوم. برای نشانه‌های اختصاری به شکل ۶ مراجعه شود.

Mineral	Hypogene (hydrothermal)		Supergene
	Early stage	Mid stage	Late stage
Qtz	—————		
Cal	—————		
Mag	—————		
Py	—————		
Ccp	—————	—————	
Bn	—————		
Sp		—————	
Gn		—————	
Cc			—————
Cv			—————
Mal			—————
Cer			—————
Hem			—————
Gt			—————

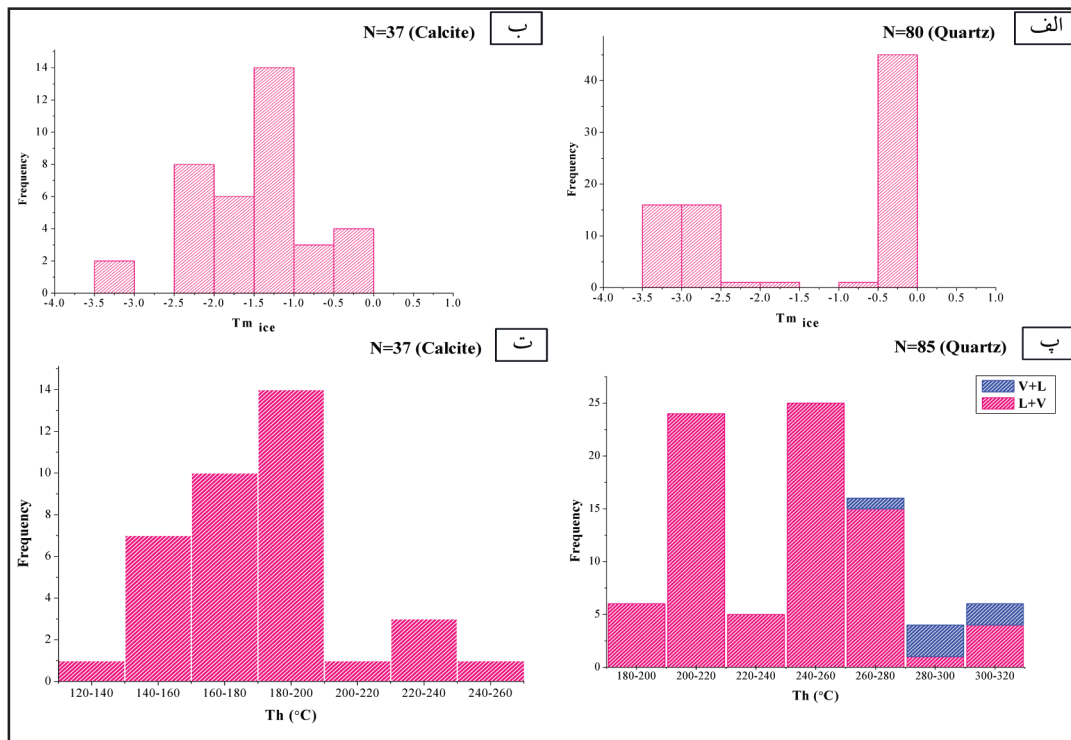
شکل ۶- توالی پاراژنزی در رگه‌های معدنی نیکویییه. نشانه‌های اختصاری: کوآرتز (Qtz)، کلسیت (Cal)، مگنتیت (Mag)، پیریت (Py)، کالکوپیریت (Ccp)، بوردنیت (Bn)، گالن (Gn)، اسفالریت (Sp)، کالکوسیت (Cc)، کولین (Cv)، هماتیت (Hem)، گوتیت (Gt)، مالاکیت (Mal)، سروزیت (Cer).



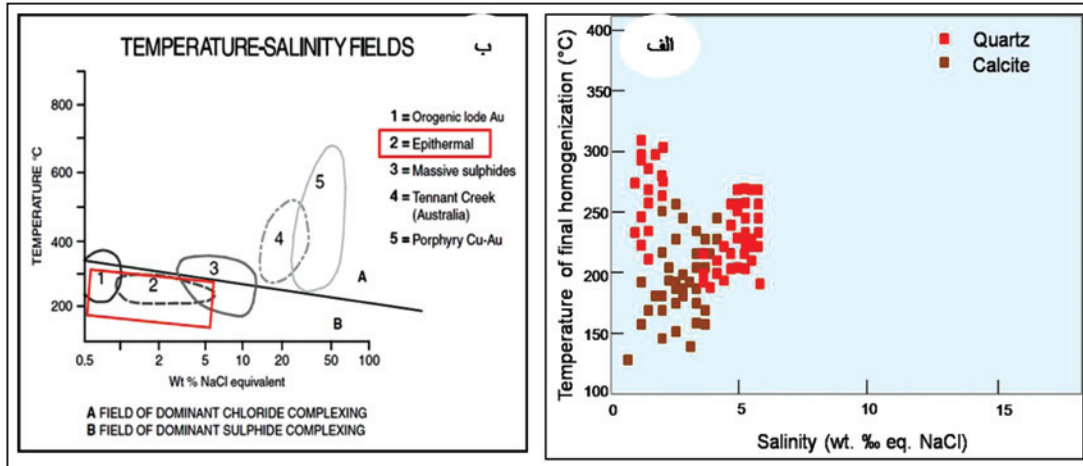
شکل ۷- تصاویر میکروسکوپی الکترونی از مراحل کانه‌زایی. الف) کانه‌زایی گالن در مرحله دوم؛ ب، پ و ت) کانه‌زایی کالکوپیریت، پیریت و اکسیدهای آهن در مرحله اول؛ ث) کانه‌زایی گالن در مرحله دوم که از حاشیه به سروزیت تبدیل شده است؛ ج) تصویر سوزن‌های هماتیت (اسپیکولاریت). برای نشانه‌های اختصاری به شکل ۶ مراجعه شود.



شکل ۸- تصاویر میکروسکوپی از میانبرهای اولیه دوفازی غنی از گاز (V+L) و دوفازی غنی از مایع (L+V) در کوارتز و کلسیت (بخش ج) همراه با رگه‌های کانه‌دار در طی مراحل اول و دوم کانه‌زایی.

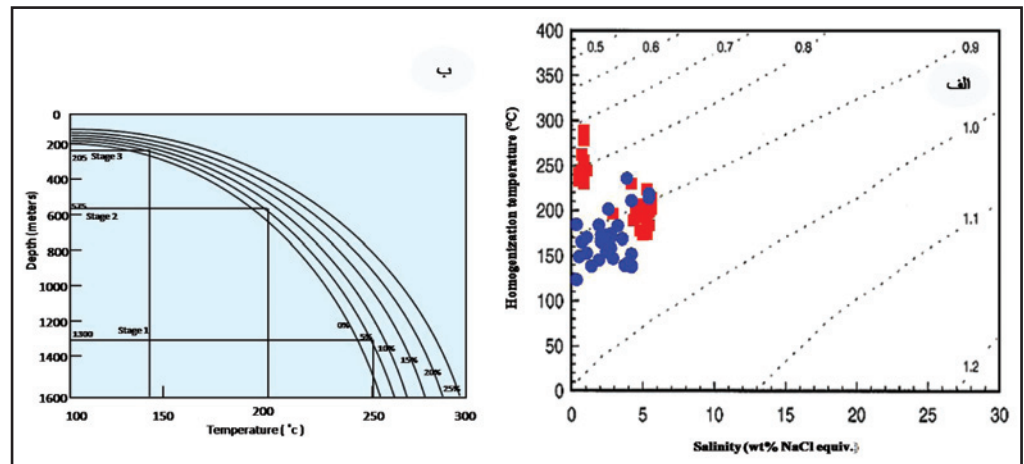


شکل ۹- نتایج مطالعات ریزدماسنجی در رگه‌های منطقه معدنی نیکویی؛ الف) نمودار فراوانی آخرین دمای ذوب یخ در کوارتز؛ ب) نمودار فراوانی آخرین دمای ذوب یخ در کلسیت؛ پ) نمودار دمای همگن‌شدگی میانبرهای سیال اولیه در کوارتز؛ ت) نمودار دمای همگن‌شدگی میانبرهای سیال اولیه در کلسیت.



شکل ۱۰- الف) نمودار دمای همگن‌شدگی- شوری در منطقه نیکویی؛ ب) نمودار دمای همگن‌شدگی- شوری کانسارهای مختلف نشان می‌دهد که کانه‌زایی در نیکویی در رده کانسارهای اپی‌ترمال قرار می‌گیرد (بر گرفته از (Large et al. (1988).

شکل ۱۱- الف) محاسبه چگالی میانبرهای سیال بر پایه دمای همگن‌شدگی- شوری همراه با کنتورهای چگالی (Wilkinson, 2001)؛ ب) نمودار به دست آوردن ژرفای کانی‌سازی در منطقه معدنی نیکویی برای مراحل کانه‌زایی (بر گرفته از (Haas (1971).



جدول ۱- نتایج تجزیه مایکروپروپ کانی‌های کدر منطقه نیکویی، مقادیر یاد شده بر حسب کمترین و بیشترین مقدار تجزیه شده در کانه‌هاست. اعداد درون پرانتز: تعداد تجزیه‌ها؛ nd: مقادیر اندازه‌گیری نشده؛ (۱) اسفالریت؛ (۲) گالن؛ (۳) کالکوپیریت مرحله اول؛ (۴) بورنیت؛ (۵) پیریت؛ (۶) کالکوپیریت مرحله دوم؛ (۷) کالکوسیت؛ (۸) کوولیت؛ (۹) سروزیت؛ (۱۰) هماتیت.

	۱ (۱۰)	۲ (۱۵)	۳ (۸)	۴ (۸)	۵ (۱۰)	۶ (۵)	۷ (۴)	۸ (۵)	۹ (۴)	۱۰ (۳)
S	۳۲/۷۰-۳۴/۳۵	۱۰/۱۰-۱۱/۱۰	۳۳/۱۰-۳۳/۶۸	۲۵/۱۰-۲۶/۰۰	۵۲/۱۰-۵۳/۵۰	۳۴/۰۴-۳۴/۶۲	۲۱/۰۰-۲۱/۶۲	۳۱/۱۲-۳۱/۸۲	<۰/۰۱	<۰/۰۱
Fe	۰/۰۳-۰/۱۲	<۰/۰۱-۰/۰۲	۳۲/۲۰-۳۳/۰۲	۱۰/۰۸-۱۱/۰۰	۴۷/۲۰-۴۷/۵۰	۳۱/۳۰-۳۲/۰۰	<۰/۰۱	۰/۰۶-۰/۱۵	<۰/۰۱-۰/۰۴	۶۳/۱۱-۶۳/۹۸
Cu	<۰/۰۱	<۰/۰۱-۰/۰۲	۳۲/۲۰-۳۳/۰۲	۶۳/۲۵-۶۳/۷۰	<۰/۰۱-۰/۰۴	۳۲/۱۷-۳۲/۷۱	۷۷/۴۴-۷۷/۸۲	۶۶/۷۲-۶۶/۹۲	۰/۲۹-۰/۳۵	<۰/۰۱-۰/۰۲
Zn	۶۴/۲۹-۶۴/۴۶	۰/۰۴-۰/۱۲	<۰/۰۱	<۰/۰۱	<۰/۰۱-۰/۰۴	۰/۲۲-۰/۳۷	<۰/۰۱	<۰/۰۱	<۰/۰۱	<۰/۰۱
As	۰/۱۰-۰/۳۲	۰/۵۰-۰/۰۲	۰/۴۳-۰/۶۵	<۰/۰۱	۰/۰۷-۰/۱۴	۰/۴۷-۰/۷۱	۰/۱۶-۰/۲۵	۰/۱۲-۰/۲۱	<۰/۰۱	<۰/۰۱-۰/۰۲
Se	<۰/۰۱	<۰/۰۱	<۰/۰۱	<۰/۰۱	<۰/۰۱	<۰/۰۱	<۰/۰۱	<۰/۰۱	<۰/۰۱	<۰/۰۱
Ag	<۰/۰۱-۰/۰۲	<۰/۰۱-۰/۰۲	۰/۱۳-۰/۲۳	<۰/۰۱	<۰/۰۱-۰/۰۲	۰/۰۴-۰/۰۸	<۰/۰۱-۰/۰۲	۰/۱۰-۰/۳۱	۰/۰۴-۰/۱۰	<۰/۰۱-۰/۰۲
Cd	۰/۴۰-۰/۹۲	<۰/۰۱-۰/۰۲	<۰/۰۱	<۰/۰۱	<۰/۰۱	<۰/۰۱-۰/۰۲	<۰/۰۱-۰/۰۴	<۰/۰۱	<۰/۰۱	<۰/۰۱
Au	<۰/۰۱	<۰/۰۱	۰/۰۷-۰/۱۱	<۰/۰۱	<۰/۰۱-۰/۰۲	۰/۰۲-۰/۰۶	<۰/۰۱	<۰/۰۱	<۰/۰۱	۰/۰۲-۰/۰۸
Pb	<۰/۰۱	۸۸/۰۵-۸۸/۸۲	<۰/۰۱	<۰/۰۱	<۰/۰۱	<۰/۰۱	n.d	n.d	۷۸/۹۲-۷۸/۳۲	۰/۱۰-۰/۵۱
Sb	<۰/۰۱-۰/۰۲	<۰/۰۱-۰/۰۲	<۰/۰۱-۰/۰۲	<۰/۰۱	<۰/۰۱	۰/۰۴-۰/۱۷	n.d	n.d	<۰/۰۱	n.d
W	<۰/۰۱-۰/۰۲	<۰/۰۱	<۰/۰۱-۰/۰۴	<۰/۰۱	<۰/۰۱-۰/۰۲	<۰/۰۱	n.d	n.d	n.d	n.d
Te	<۰/۰۱	<۰/۰۱	<۰/۰۱	n.d	<۰/۰۱-۰/۰۲	۰/۰۱-۰/۰۶	n.d	n.d	n.d	n.d
Bi	<۰/۰۱	<۰/۰۱	<۰/۰۱	۰/۰۸-۰/۱۲	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
Sn	<۰/۰۱	<۰/۰۱-۰/۰۴	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
Ti	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	<۰/۰۱	<۰/۰۱
Ni	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	۰/۰۴-۰/۰۹	<۰/۰۱-۰/۰۴
Co	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	<۰/۰۱-۰/۰۳	<۰/۰۱-۰/۰۲
Total	۹۷/۵۵-۱۰۰/۴۰	۹۸/۷۵-۱۰۱/۲۵	۹۷/۱۵-۱۰۰/۸۳	۹۸/۵۱-۱۰۰/۹۱	۹۹/۳۳-۱۰۱/۳۴	۹۸/۳۲-۱۰۰/۷۳	۹۸/۶۲-۹۹/۷۹	۹۸/۱۲-۹۹/۴۵	۷۹/۳۱-۸۰/۰۱	۶۳/۲۸-۶۴/۷۴

جدول ۲- داده‌های ریزدماسنجی میانبرهای سیال منطقه معدنی نیکویی. n: تعداد نمونه‌ها؛ Tm_{ice} : دمای ذوب پایانی یخ؛ Th: دمای همگن‌شدگی سیال؛ Te: دمای اوتکتیک.

Sample	Mineral	Inclusion type	Th range (°C)	Te(°C)	Tm_{ice} (°C)	NaCl equiv./Salinity wt
NK-44	Quartz	Primary	۱۸۶- ۲۱۸ (n=۱۵)	-۲۱/۲ تا -۳۰	-۲/۶ تا -۳/۲	۴/۳۴ تا ۵/۲۶
NK-7	Quartz	Primary	۲۴۵-۳۰۷ (n=۳۴)	-۲۱/۲ تا -۳۰	-۲/۵ تا -۰/۳	۰/۵۳ تا ۴/۱۸
NK-F2	Quartz	Primary	۱۸۵-۲۳۸ (n=۱۸)	-۲۱/۲ تا -۳۰	-۳/۴ تا -۱/۷	۲/۹ تا ۵/۵۶
NK-8	Quartz	Primary	۲۲۰-۳۱۲ (n=۱۸)	-۲۱/۲ تا -۳۰	-۰/۴ تا -۰/۵	۰/۷ تا ۰/۸۸
NK-6	Calcite	Primary	۱۴۸-۲۵۱ (n=۲۸)	-۲۱/۲ تا -۳۰	-۳/۳ تا -۰/۴	۰/۷ تا ۵/۴۱
NK-1	Calcite	Primary	۱۳۳-۱۹۷ (n=۹)	-۲۱/۲ تا -۳۰	-۲/۲ تا -۰/۲	۰/۳۵ تا ۳/۷۱

جدول ۳- مقایسه منطقه معدنی نیکویی با ۳ سامانه‌ای ترمال سولفیدی نشان داد که کانه‌زایی در منطقه معدنی نیکویی با نوع سامانه‌ای ترمال سولفیداسیون پایین همانندی بیشتری دارد.

ویژگی‌ها	منطقه معدنی نیکویی	سولفیداسیون پایین	سولفیداسیون متوسط	سولفیداسیون بالا
سنگ میزبان	سنگ‌های آتشفشانی کالک آلکالین آندزیتی، ریوداسیتی	بازالت تا ریولیت در ماگمای ساب‌آلکالین و در ماگمای آلکالی-بازالت تا تراکیت	بیشتر آندزیت تا ریوداسیت به مقدار کمتر ریولیت	آندزیت تا ریوداسیت
دگرسانی	کوارتز، کربنات، سریسیت، آدولاریا، کلریت، کانولینیت	ایلیت-اسمکتیت-آدولاریا	سریسیت، آدولاریا معمولاً کمیاب	کوارتز-آلونیت، کوارتز-پیروفیلیت/دیکیت
حجم سولفید	کمتر از ۵ درصد حجمی	در ماگمای ساب‌آلکالین ۲-۱٪ و در ماگمای آلکالین ۱۰-۲ درصد حجمی	۵ تا ۲۰ درصد حجمی	۹۰-۱۰۰ درصد حجمی
کانه‌های سولفیدی مهم	پیریت، بورنیت، گالن، اسفالریت، کالکوپیریت	مقادیر کم آرسنوپیریت همراه با درصد حجمی کم اسفالریت، گالن، کالکوپیریت، تتراهدريت	اسفالریت، گالن، تتراهدريت، تنانیت، سولفوسالت‌های نقره‌دار	انارژیت، لوزونیت، اکانتیت، کولیت، فامانیت، استینیت
ویژگی‌های سیال	(۵/۵) < درصد وزنی معادل نمک طعام) و دمای ۱۳۳ تا ۳۱۲ درجه سانتی‌گراد،	(۱/۱) تا ۵ درصد وزنی معادل نمک طعام) و دمای ۱۵۰ تا ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد، سیال خنثی و احیایی	(۱ تا ۱۲ درصد وزنی معادل نمک طعام) و دمای ۱۵۰ تا ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد، سیال اسیدی و اکسیدان	(۱ تا ۲۰ درصد وزنی معادل نمک طعام) و دمای ۱۵۰ تا ۳۷۰ درجه سانتی‌گراد، سیال اسیدی و اکسیدان
بافت	باندی، برشی شده، کوارتز نهران بلورین و کلوفرم، کلسدون، کلسیت تیغه‌ای، رگه‌های کربنات فراوان	رگه‌ای، پرکننده فضای خالی (باندی، کلوفرم)، برشی، استوک وورک، پراکنده، کوارتزهای ریزبلورین، رگه کربنات	پرکننده فضای خالی (باندی، رگه‌های کراستیفرم متقارن تا نیمه‌متقارن)، جانیشینی، برشی، توده‌ای، کوارتز شانه‌ای	رگه‌ای، توده‌ای، جانیشینی، برشی، سیلیسیفیکاسیون ریزدانه متراکم، کوارتز و وگی، باریت، نبود کربنات
عناصر کانه‌زا	طلا، نقره، سرب، روی، مس، آهن	طلا ± نقره	طلا-نقره، روی، سرب، مس	طلا-نقره، مس، آرسنیک-آنتیمون
نمونه	این مطالعه و کانسار پلی‌متال قلعه‌زری خراسان	Midas, Nevada; Emperor, Fiji, Hishikari, Japan	Baguio, Philippines (Au-rich)	El Indio, Chili; Yanacocha, Peru
منابع	آقاجانی (۱۳۹۰) و Hassan-Nezhad & Moor (2006)	Sillitoe & Hedenquist (2003)	Sillitoe & Hedenquist (2003)	Sillitoe & Hedenquist (2003)

کتابنگاری

- احمدیان، ج.، ۱۳۷۰- بررسی ژئوشیمیایی زون‌های آلتراسیون هیدروترمال با نگرشی بر کانی‌سازی‌های انجام‌شده در منطقه ذاکر، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تبریز.
- آسیابانها، ع.، ۱۳۸۰- زمین‌شناسی و پتروژنز رخساره‌های آتشفشانی منطقه یوزباشی‌چای، غرب قزوین، رساله دکترا، دانشگاه تربیت مدرس، ۳۲۱ ص.
- افتخارزاده، ج.، ۱۳۵۹- تفکیک بخش‌های مختلف ایران از لحاظ وضع ساختمانی در ارتباط با حوضه‌های رسوبی، نشریه انجمن نفت، شماره ۸۲، صص. ۱۹ تا ۲۸.
- آقاجانی، س.، ۱۳۹۰- بررسی پترولوژیکی و ژئوشیمی سنگ‌های آذرین ترشیری نیکویی قزوین با نگرشی بر میکروترموتری میانبرهای درگیر و کانی‌سازی مربوطه، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، سازمان زمین‌شناسی کشور، ۱۲۵ ص.
- آقاجانی، س.، ۱۳۸۳- زمین‌شناسی ایران، انتشارات سازمان زمین‌شناسی کشور، ۷۰۷ ص.
- پیروان، ح.، ۱۳۸۱- بررسی ژئوشیمیایی زون‌های آلتراسیون هیدروترمال سنگ‌های ماگمایی منطقه طارم و اثرات زیست محیطی آن، رساله دکترای زمین‌شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات.
- حاج‌علیلو، ب.، ۱۳۷۸- متالورژی ترشیری البرز غربی- آذربایجان (میان سیه‌رود) با نگرشی بر منطقه هشتجین، چهارمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، صص. ۳۲۳ تا ۳۳۱.
- حسینی، م.، ۱۳۷۴- آلونیت‌زایی در منطقه طارم، دومین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران.
- علائی‌مهابادی، س. و فنودی، م.، ۱۳۷۷- نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ تاکستان، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- قربانی، م.، ۱۳۸۶- زمین‌شناسی اقتصادی ذخایر معدنی و طبیعی ایران، انتشارات آرن زمین، ۵۱۵ ص.

مؤید، م.، ۱۳۷۰- بررسی‌های پتروگرافیکی و پتروشیمی سنگ‌های نوار ولکانو- پلوتونیک منطقه طارم در ارتباط با ژنز مس، دانشکده علوم، دانشگاه تبریز.
مؤید، م.، ۱۳۸۰- بررسی نوار ولکانو- پلوتونیک ترشیری البرز غربی- آذربایجان با نگرشی ویژه بر منطقه هشتجین، دانشکده علوم، دانشگاه شهید بهشتی تهران.
معین‌وزیری، ح.، ۱۳۷۵- دیباچه‌ای بر ماگماتیسم در ایران، انتشارات دانشگاه تربیت معلم، ۴۴۰ ص.

References

- Benning, L. G. & Seward, T. M., 1996- Hydrosulfide complexing of Au in hydrothermal solutions from 150 to 400°C and 500 to 1500 bars, *Geochimica, et. Cosmochimica Acta* 60, 1849–1871.
- Bodnar, R. J., 1993- Revised equation and table for determining the freezing point depression of H₂O-NaCl solutions, *Geochim Cosmochim Acta* 57, 683-684.
- Bodnar, R. J., Reynolds, T. J. & Kuehn, C. A., 1985- Fluid inclusion systematic in epithermal systems, In: B. R. Berger & P.M. Bethke (eds.) *geology and geochemistry of epithermal system*. Society of Economic Geologists, 73-79.
- Camprubi, A., Chomiak, B. A., Canals, A. & Norman, D. I., 2006- Fluid sources for the La Guitarra epithermal deposit (Temascaltepec district, Mexico): Volatile and helium isotope analyses in fluid inclusions. *Chemical Geology* 231, 252-284.
- Collins, P. L. F., 1979- Gas hydrates in CO₂-bearing
74, 1435–1444.
- Downes, P. M., 2006- Yerranderie a Late Devonian Silver–Gold–Lead intermediate sulfidation epithermal district, Eastern Lachlan Orogen, New South Wales, Australia: *Resource Geology* 57, 1–23.
- Einaudi, M. T., Hedenquist, J. W. & Inan, E. E., 2003- Sulfidation state of fluids in active and extinct hydrothermal systems: Transitions from porphyry to epithermal environments. *Society of Economic Geology Special Publication* 10, 285 – 313.
- Gemmell, B., 2006- Exploration implication of hydrothermal alteration associated with epithermal Au-Ag deposits, ARC- AMIRAP 588, 1–5.
- Gemmell, B., 2004- Low and intermediate-sulfidation epithermal deposits. ARC- AMIRAP, Australia, 57–63.
- Ghasemi Siani, M., Mehrabi, B., Azizi, H., Wilkinson, C. M., 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
- Haas, J. L., 1971- The effect of salinity on the maximum thermal gradient of a hydrothermal system at hydrostatic pressure, *Economic Geology* 66, 940-946.
- Hassan-Nezhad, A. A. & Moore, F., 2006- A stable isotope and fluid inclusion study of the Qaleh-Zari Cu–Au–Ag deposit, Khorasan Province, Iran, *Journal of Asian Earth Sciences* 27, 805–818.
- Hedenquist, J. W., Arribas, A. R. & Gonzalez-Urien, E., 2000- Exploration for epithermal gold deposits, *Reviews in Economic Geology* 13, 245–277.
- Large, R., Huston, D., McGoldrick, P., McArthur, G. & Ruxton, P., 1988- Gold distribution and genesis in Paleozoic volcanogenic massive sulphide systems, In: *Bicentennial Gold 88*, Geological Society of Australia, Abstract Series, Melbourne 21, 121–126.
- Nabatian, G., Gaderi, M., Neubauer, F., Honarmand, M., Liu, X., Dong, Y., Jiang, S., Quadet, A. & Bernroider, M., 2014- Petrogenesis of Tarom high-potassic granitoids in the Alborz–Azarbaijan belt, Iran: Geochemical, U–Pb zircon and Sr–Nd–Pb isotopic constraints, *Lithos* 184–187, 324–345.
- Palyanaova, G., 2008- Physicochemistry modeling of the coupled behavior of gold and silver in hydrothermal processes, gold fineness, Au/Ag ratios and their possible implications, *Chemical Geology* 255, 399-413.
- Roedder, E. & Bodnar, R. J., 1980- Geologic pressure determinations from fluid inclusions studies, *Annual Review of Earth and Planetary Sciences* 8, 263-301.
- Roedder, E., 1984- Fluid inclusions, *Reviews Mineralogy* 12, 1-644.
- Seward, T. M. & Barnes, H. L., 1997- Metal transport by hydrothermal ore fluids, in Barnes, H.L., ed., *Geochemistry of hydrothermal ore deposits*, New York, John Wiley and Sons, 435–486.
- Sillitoe, R. H. & Hedenquist, J. W., 2003- Linkages between volcano-tectonic settings, Ore-fluid compositions and epithermal precious metal deposits, *Society of Economic Geologists, Special Publication* 10, 315–343.
- Stocklin, J., 1968- Structural history and tectonics of Iran, A review, *American of Petroleum Geologists Bulletin* 52, No. 7, 1229-1258.
- White, N. C. & Hedenquist, J. W., 1995- Epithermal gold deposits: styles, characteristics and exploration, published in *SEG Newsletter*, 9-13.
- Wilkinson, J. J., 2001- Fluid Inclusion in hydrothermal ore deposit, *Lithos* 55, 229-272.

Source of polymetal epithermal veins at nikuyeh district (West of Qazvin) based on mineralogy, alteration and fluid inclusion studies

S. Aghajani Marsa ^{1*}, M. H. Emami ², M. Lotfi ³, K. Gholizadeh ⁴ & M. Ghasemi Siani ⁵

¹ M.Sc., Mineralogy Lab., Iran Mineral Processing Research Center (IMPRC), Tehran, Iran

² Associate Professor, Islamic Azad University Islamshahr Branch; Research Institute for Earth Sciences, Geological Survey of Iran, Tehran, Iran

³ Associate Professor, Islamic Azad University, Tehran North Branch; Research Institute for Earth Sciences, Geological Survey of Iran, Tehran, Iran

⁴ Ph.D. Student, Faculty of Earth Sciences, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

⁵ Ph.D., Faculty of Earth Sciences, Kharazmi University, Tehran, Iran

Received: 2015 August 03

Accepted: 2015 October 25

Abstract

The mineralized veins at Nikuyeh are located south of the Taron-Hashtjin metallogenic province in Alborz-Azarbayejan belt (West Alborz). Rhyodacite and andesite/andesitic basalt volcanic rocks are hosting the vein mineralization in the Nikuyeh ore district. Hydrothermal alteration in host rocks consists of propylitic, sericitic, argillic and silicic. Mineralization in Nikuyeh occurs in both hypogene and supergene forms in three stages: early stage includes pyrite, magnetite, chalcocopyrite and bornite; middle stage includes galena, sphalerite and minor chalcocopyrite, and late stage includes malachite, cerussite, covellite, hematite and goethite. Fluid inclusion studies on quartz and calcite show homogenization temperatures ranging between 185°C to 312°C and 133°C to 251°C, respectively. The salinities range from 0.5 to 5.5 wt% NaCl eq. in quartz and 0.3 to 5.4 wt% NaCl eq. in calcite. Boiling is supported by the occurrence of coexisting vapor-rich and liquid-rich inclusions, hydrothermal breccias, microcrystalline quartz, chalcedony and bladed calcite. Boiling and cooling are considered as the main mechanisms for ore deposition. Ore mineralogy, alteration assemblages and fluid inclusion data allow mineralization in Nikuyeh ore district to be classified as low sulfidation epithermal type.

Keywords: Mineralogy, Alteration, Fluid inclusions, Epithermal, Low sulfidation, Nikuyeh.

For Persian Version see pages 157 to 168

*Corresponding author: S. Aghajani Marsa; E-mail: imprc.s@gmail.com