

خاستگاه و روند تکامل سیال‌های کانهزا در منطقه جیزووان (شمال غرب زنجان): بر اساس بررسی میانبارهای سیال

نادر گلشنی نسب^۱، علیرضا جعفری‌راد^{*}، محسن موید^۲، نیما نظافتی^۱

۱- دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران، دانشکده علوم و فناوری‌های همگرا، گروه زمین‌شناسی، تهران، ایران.

۲- گروه علوم زمین، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.

(دریافت مقاله: ۱۴۰۱/۳/۱۸، نسخه نهایی: ۱۴۰۱/۷/۹)

چکیده: منطقه جیزووان با مساحت ۴۵ کیلومتر مربع در ۷۰ کیلومتری شمال غرب زنجان و در پهنه فلزیابی طارم- هشتتجین واقع است. واحدهای سنگی عمده در منطقه جیزووان شامل توالی منظمی از طبقه‌های نازک لایه توف و توف برشی شده با ترکیب حدواتسط تا بازیک با میان لایه‌هایی از آندزیت و بازالت به سن ائوسن است. افزون بر آن، واحدهای آتشفسانی تراکیتی و تراکی آندزیتی به سن الیگوسن نیز در منطقه گسترش دارند. در شرق منطقه، به بخش‌هایی از توالی توف و توف برشی شده، توده‌های نیمه عمیق کوارتز مونزونیت، مونزودیوریت و سینیت نفوذ کرده‌اند. در نتیجه این رویداد و به دلیل حضور ساختارهای خطی و نفوذ سیال‌های گرمایی، این سنگ‌ها دستخوش دگرسانی آرژیلیک پیشرفت‌شده‌اند. کانی‌سازی کربناتی (ملاکیت) و سولفیدی مس (کالکوپیریت، بورنیت، تتراهریت- تنانیت و کالکوسیت- کولولیت) به همراه کانی‌های پیریت، گالن، اسفالریت، آرسنوبیریت، کوارتز، کلسیت و گوتیت با بافت رگه- رگچه‌ای در واحدهای نام برده گسترش یافته‌اند. از بررسی میانبارهای سیال اولیه با دو فاز مایع و گاز، دماهای همگن‌شدنی از ۹۵/۶ تا ۲۶۸/۹ °C با بیشترین فراوانی در ۱۸۵ °C ثبت شد. شوری سیال‌های کانهزا بین ۴۶۵ تا ۲۳/۸ درصد وزنی معادل NaCl و چگالی آنها در گستره ۰/۷۷ تا ۱۰/۸ گرم بر سانتی‌متر مکعب است. براساس داده‌های میانبارهای سیال، آمیختگی آبهای ماقمایی با آبهای جوی عامل اصلی تنشست عناصر فلزی و رخداد کانی‌سازی در منطقه جیزووان است. این نتایج، همپوشی بسیاری با داده‌های معرف قلمرو کانسارهای فراگرمایی (Epithermal) دارند.

واژه‌های کلیدی: سیال درگیر؛ کانی‌زایی؛ فراگرمایی؛ دگرسانی؛ منطقه جیزووان؛ پهنه طارم- هشتتجین.

همکاران [۶]، کوهستانی و همکاران [۷]، و یاسمی و قادری [۸] کانی‌سازی مس به صورت رگه‌های کوارتز- فلوریت در بازالت‌های آندزیتی ائوسن شبیه با کانسارهای فراگرمایی فلزهای پایه را در منطقه جیزووان گزارش کرده‌اند. از سوی دیگر، عابدینی [۹] کانی‌سازی سولفیدی مس و سرب و کانی‌سازی ثانویه مس و گوتیت را در رگه‌ها و رگچه‌های سیلیسی و کربناتی این منطقه گزارش داده است. از مهم‌ترین رخدادهای کانی‌زایی در منطقه مورد بررسی، رگه و رگچه‌های سیلیسی دارای کانی‌سازی سولفیدی اولیه شامل پیریت، کالکوپیریت و گالن، و کانی‌زایی ثانویه دارای ملاکیت و گوتیت

مقدمه

منطقه جیزووان با مساحت ۴۵ کیلومتر مربع در ۲۰ کیلومتری جنوب شرق شهرستان هشتتجین و در ۷۰ کیلومتری شمال غرب زنجان قرار دارد. بر پایه تقسیمات پهنه‌های زمین‌ساختی ایران، منطقه جیزووان در پهنه ساختاری البرز- آذربایجان [۱۰] و در برخوردگاه آن با کمریند ماقمایی ارومیه- دختر [۲، ۳] واقع است. این منطقه بخشی از پهنه فلزیابی طارم- هشتتجین [۴، ۵] را تشکیل می‌دهد (شکل ۱). پهنه فلزیابی طارم- هشتتجین از دیدگاه پی‌جویی کانهزاًی گوناگون فلزهای پایه به عنوان یکی از مستعدترین پهنه‌های فلزیابی کشور است [۶]. فیضی و

*نویسنده مسئول، تلفن: ۰۹۱۲۳۴۹۸۳۴۴، نمابر: ۰۲۱-۴۴۸۶۰۶۰، پست الکترونیکی: alirad@yahoo.com

آمفیبول، هم چنین کانی‌های ثانویه کلسیت، کلریت، کانی‌های کدر و کانی‌های رسی و سریسیت با بافت بلورسنگ آواری است. رخنمون‌های توالی آندزیت و آندزیت بازالتی در بردارنده سنگ‌هایی از نوع آندزیت بازالتی تا آندزیت با بافت پورفیری هستند. کانی‌های اصلی آن پلاژیوکلاز و کلینوپیروکسن و سایر کانی‌های تشکیل دهنده آن شامل کانی‌های فرعی کوارتز، پیروکسن، کانی‌های کدر و کانی‌های ثانویه کلسیت و کانی‌های رسی (سریسیت) هستند. در واحد آندزیت پورفیری، کانی‌های اصلی شامل درشت بلورهای پلاژیوکلاز و فلدسپار قلیایی هستند. آمفیبول، کوارتز و زیرکن به عنوان کانی‌های فرعی و کانی‌های ثانویه شامل کلسیت، کلریت، کانی‌های رسی (سریسیت) و کانی‌های کدر هستند.

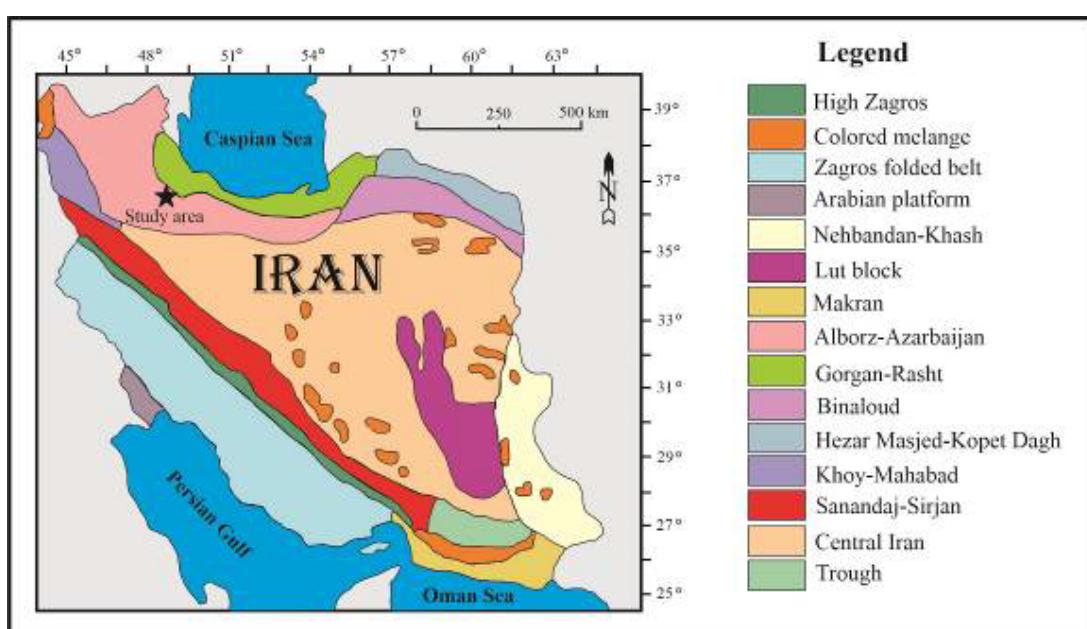
گدازه‌های تراکیتی الیگومن در منطقه جیزوan با دگرشیبی زاویه‌دار بر سنگ‌های آتشفسانی و آذرآواری‌های ائوسن گستردۀ شده‌اند [۱۴، ۱۵]. این گدازه‌ها دارای ظاهر منشوری هستند و با بلورهای درشت و شکل‌دار سانیدین در متن سنگ مشخص می‌شوند. گدازه‌ها در سطح دارای حفره‌های خالی بوده که گاه با کربنات از لبه در حال پر شدن هستند. بررسی‌های سنگ‌نگاری نشان می‌دهد که کانی‌های اصلی تشکیل‌دهنده این گدازه‌ها سانیدین، اوژیت ازیرین، آمفیبول سدیک و بیوتیت در زمینه‌ای ریزسنگی و ریزبلور از فلدسپار پتاسیم و پلاژیوکلاز هستند. بافت سنگ تراکیتی تا شیشه‌ای ریزسنگی پورفیری بوده و بدون دگرسانی است.

هستند. به منظور بررسی خاستگاه این نوع کانی‌زایی در منطقه جیزوan، در این بررسی از داده‌های میانبارهای سیال استفاده شد.

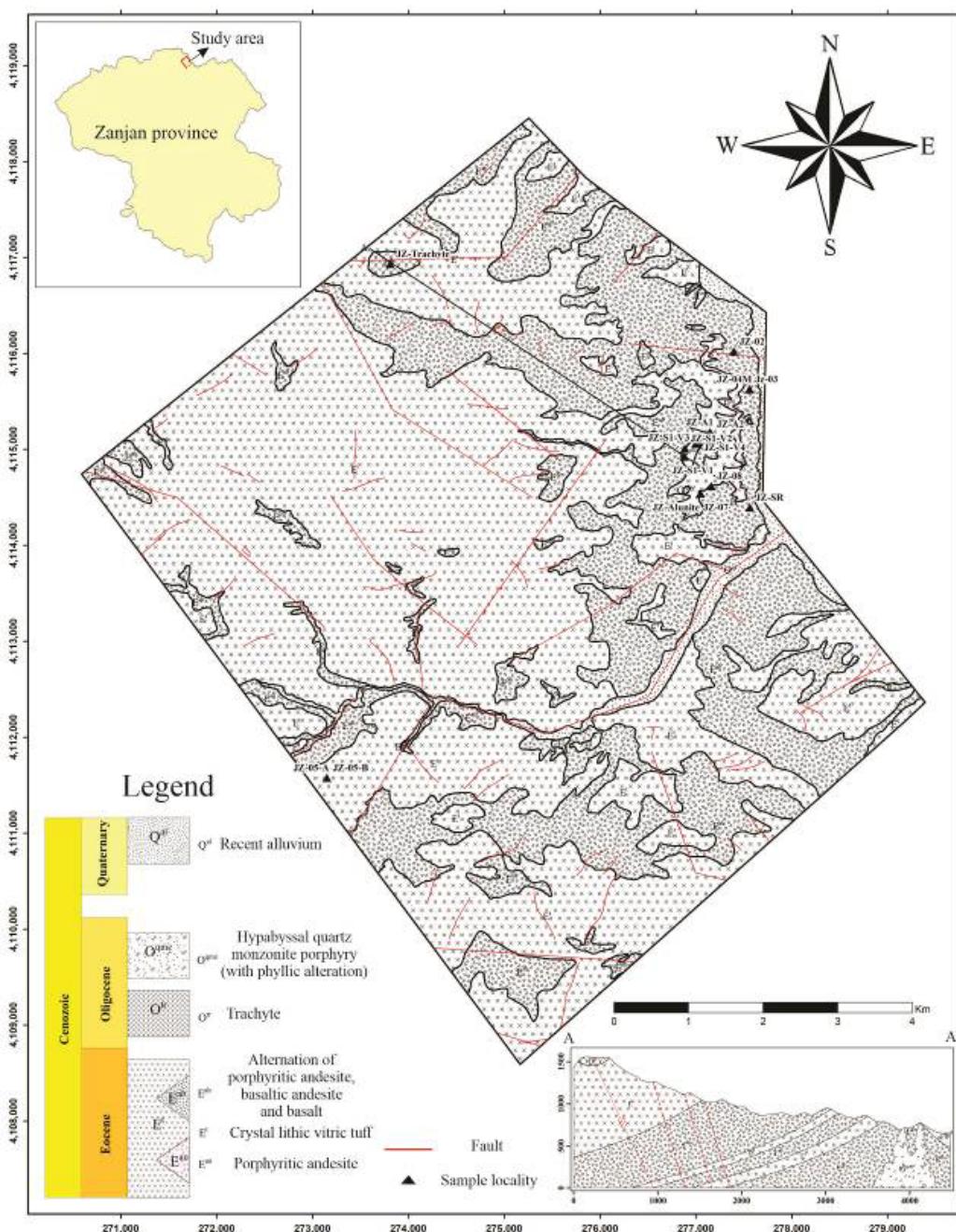
زمین‌شناسی

سنگ‌های آذرین بیرونی و درونی به سن ائوسن و الیگومن مهم ترین واحدهای سنگی در منطقه جیزوan هستند. بخش قابل ملاحظه‌ای از منطقه مورد بررسی را قدیمی‌ترین واحدهای سنگی شامل توفها و تراکی بازالت‌های ائوسن دربرگرفته‌اند (شکل ۲) [۱۰]. گدازه‌های آندزیتی تا تراکی آندزیتی با گسترش بسیار محدود از دیگر رخنمون‌های سنگی ائوسن در منطقه هستند. توده‌های نفوذی الیگومن شامل کوارتز مونزونیت، مونزوندیوریت و سینیت هستند که با بروند بسیار محدود و اغلب به صورت دایک در منطقه رخنمون یافته‌اند. واحدهای خروجی الیگومن سنگ‌های تراکیتی هستند. جوان ترین واحدهای سنگی منطقه آبرفت‌های عهد حاضر هستند [۱۱-۱۳].

بررسی‌های سنگ‌نگاری نشان می‌دهد که واحدهای آذرین خروجی در منطقه شامل بلور توف سنگی، یک توالی از آندزیت و آندزیت بازالتی، آندزیت پورفیری به سن ائوسن و تراکیت‌های الیگومن هستند. این مجموعه خروجی با واحد نفوذی کوارتز مونزونیت پورفیری به سن الیگومن قطع شده است. واحد بلور توف سنگی به عنوان سنگ میزبان کانی‌سازی شامل کانی‌های فلدسپار (پلاژیوکلاز و فلدسپار قلیایی)، کوارتز و



شکل ۱ موقعیت منطقه جیزوan در پهنه ساختاری البرز- آذربایجان [۱].



شکل ۲ نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد بررسی برگرفته از مرجع [۱۶] با تغییر.

گسترش یافته است. این دگرسانی به طور گسترده در محل تراکم و گسترش گسل‌ها گسترش یافته و با کانه‌زایی رگه‌ای-رگچه‌ای کالکوپیریت، پیریت، گالن، گوتیت و ملاکیت همراه شده است [۱۷]. رگه‌ها و رگچه‌های یاد شده از نوع سیلیسی-کربناتی هستند. برخی شدن محلی، سیلیسی شدن، کانی‌سازی سنگ گچ، انیدریت و باریت و پرشدگی شکستگی‌ها با کلسیت

در یک نظام تغییر شکل تراکشی محلی ناشی از نظام زمین‌ساختی فشارشی با روند شمالی-جنوبی [۱۷]، نفوذ نوده‌های آذرین کوارتزمونزوودیوریتی الیگوسن با ماهیت شوشوونیتی و آهکی قلیابی به درون واحدهای سنگی ائوسن، به صورت گستردۀ توفها و به طور محدود تراکی بازالت‌ها را دگرسان نموده، به طوری که یک سامانه دگرسانی آرژیلیک به نسبت گستردۀ درون توفها و سنگ‌های آتشفسانی ائوسن

نتایج سنگنگاری و کانی شناسی کانسنسگ

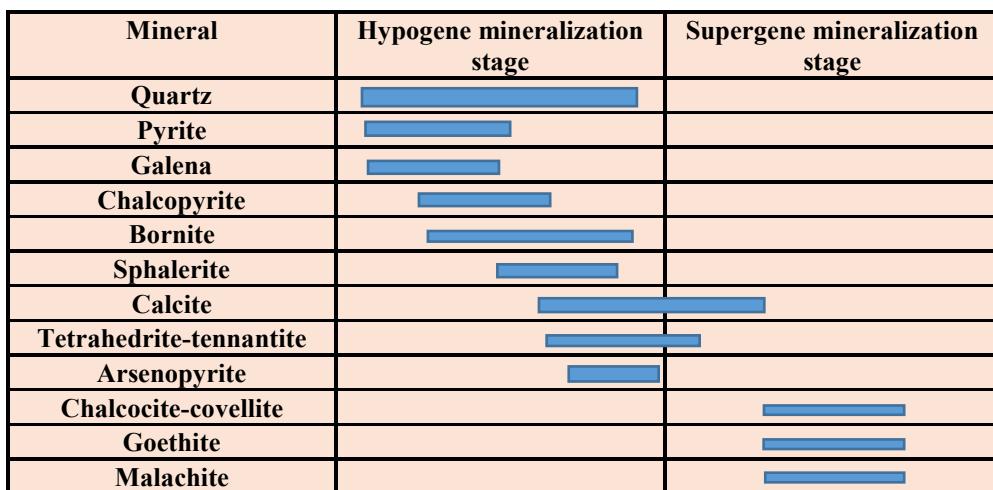
کانه‌زایی در منطقه جیزوan به صورت رگه-رگچه‌ای و به همراه رگه‌های سیلیسی در سنگ میزبان بیشتر شامل واحد بلور توف سنگی صورت گرفته است. کانه‌زایی رگه-رگچه‌ای در گسل‌ها، درزه‌ها و شکستگی‌ها رخ داده است و در آن، کانی‌های سولفیدی و سیلیس در اثر نهشت مستقیم از سیال‌های گرمابی کانه‌زا تشکیل شده‌اند. در این کانه‌زایی، کوارتز در حفره‌های سنگ همراه با کانه‌زایی سولفیدی شکل گرفته و کانی‌های مس حدود ۸ تا ۱۵٪ سنگ را تشکیل داده‌اند.

با توجه به نتایج سنگنگاری انجام شده بر مقاطع صیقلی تهیه شده از نمونه‌هایی از کانسنسگ، توالی زمانی تشکیل کانی‌ها در رگه‌های سیلیسی دربردارنده کانه‌های سولفیدی در منطقه جیزوan را می‌توان به صورت شکل ۳ در نظر گرفت. کلسیت و کوارتز کانی‌های باطله اصلی در کانی‌سازی مورد بررسی را تشکیل می‌دهند (شکل ۴ الف). کلسیت اغلب بصورت درشت تا متوسط بلور تشکیل شده و کانه‌های سولفیدی چون کالکوپیریت، پیریت، آرسنوبیریت و تتراهریت-تنانتیت را دربر می‌گیرد. کلسیت گاه آغشته‌ایی به اکسیدهای آهن را نشان می‌گیرد. کوارتز به صورت بلورهای ریز تا متوسط پراکنده در می‌دهد. کوارتز به صورت بلورهایی که قابل دیده است. این کانی گاهی به صورت رگچه‌ای نیز دیده می‌شود. با توجه به روابط بافتی، به نظر می‌رسد که کلسیت فاز تأخیری نسبت به کوارتز است.

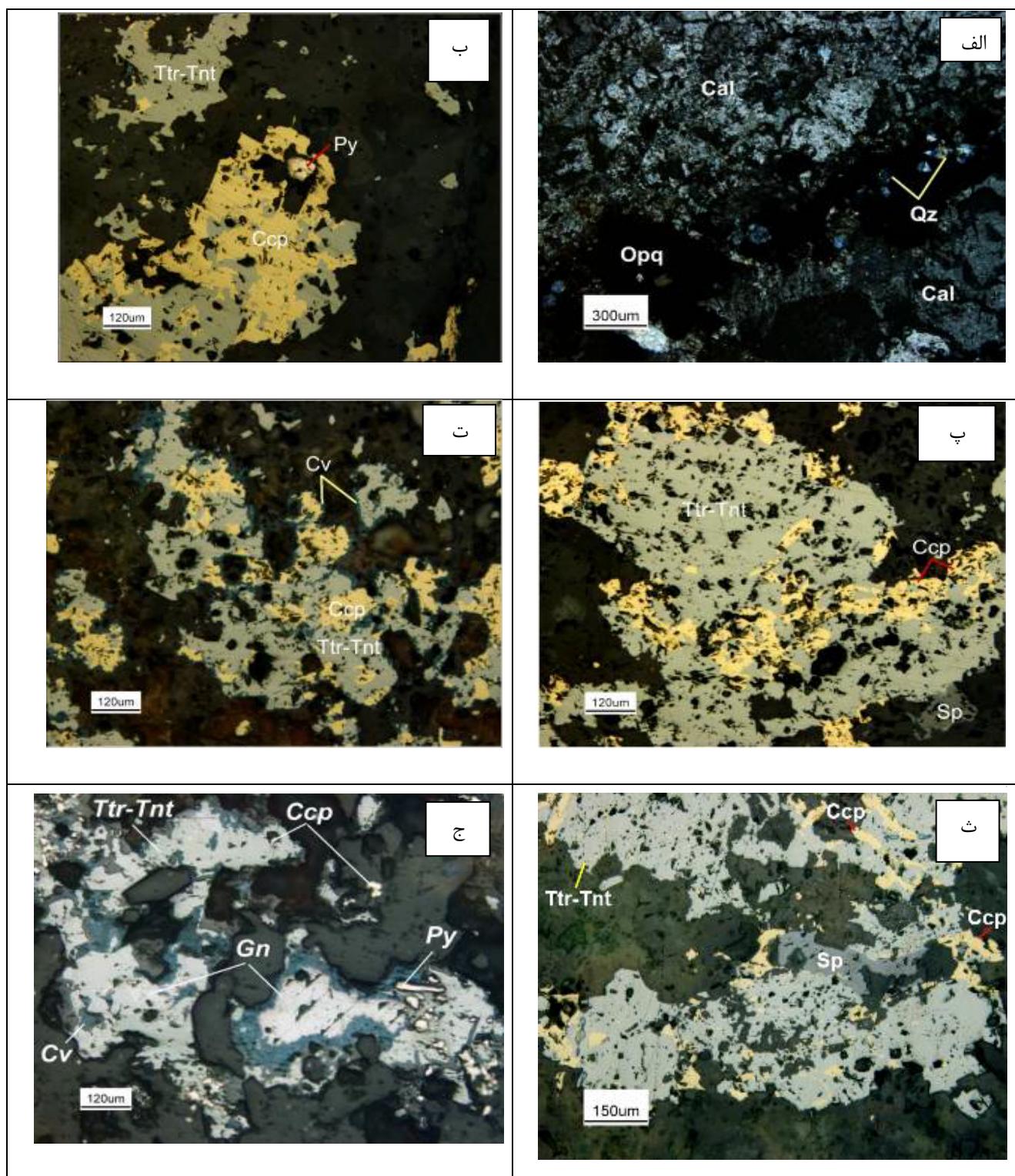
از مهمترین ویژگی‌های زمین‌شناسی پهنه دگرسانی آرژیلیک در منطقه جیزوan به شمار می‌رود [۱۷-۱۹].

نمونه‌ها و روش‌ها

به منظور انجام بررسی‌های کانه‌نگاری، تعداد ۲۰ مقطع صیقلی از کانسنسگ و برای بررسی میانبارهای سیال، تعداد ۵ مقطع دوبر صیقل از کوارتزهای همزمان با کانی‌سازی (بخش ۱-۴ را ببینید) برداشت شد. بررسی میانبارهای سیال برای نمونه‌هایی انجام شد که در آنها کوارتز از نظر همبزایی با کانی‌های سولفیدی همزمان است. از نمونه‌های انتخابی، مقاطع نازک دو بر صیقل با ضخامت حدود ۲۵۰ میکرون تهیه شد و اندازه گیری‌های ریزدماسنجی با میکروسکوپ زایس دارای میز گرمایش و سرمایش THMS-600 لینکام در آزمایشگاه ریزدماسنجی دانشگاه تربیت مدرس تهران انجام گرفت. برای سرمایش از نیتروژن مایع و برای گرمایش از یک حسگر گرمایی استفاده گردید. دستگاه با استفاده از ترکیب‌های استاندارد (KNO_3 و $\text{C}_4\text{H}_3\text{CH}_3$) واسنجی شد. دقت استاندارد در گستره دمایی 196°C - 650°C برای اندازه‌گیری سرمایش ± 0.2 درجه سانتی‌گراد و برای اندازه‌گیری گرمایش ± 0.6 درجه سانتی‌گراد است. سرمایش میانبارهای سیال تا انجام کامل آنها انجام شد و تبدیل‌های فازی درست پس از گرمایش اندازه‌گیری گردید. اندازه‌گیری‌های گرمایش با گرمادهی میانبار سیال تا رسیدن به دماهای همگن‌شدنگی انجام شد. چگالی و شوری سیال (براساس آخرین دمای ذوب یخ) براساس روابط بودنار [۲۰] محاسبه شده است.



شکل ۳ توالی همبزایی تشکیل کانی‌ها در منطقه جیزوan.



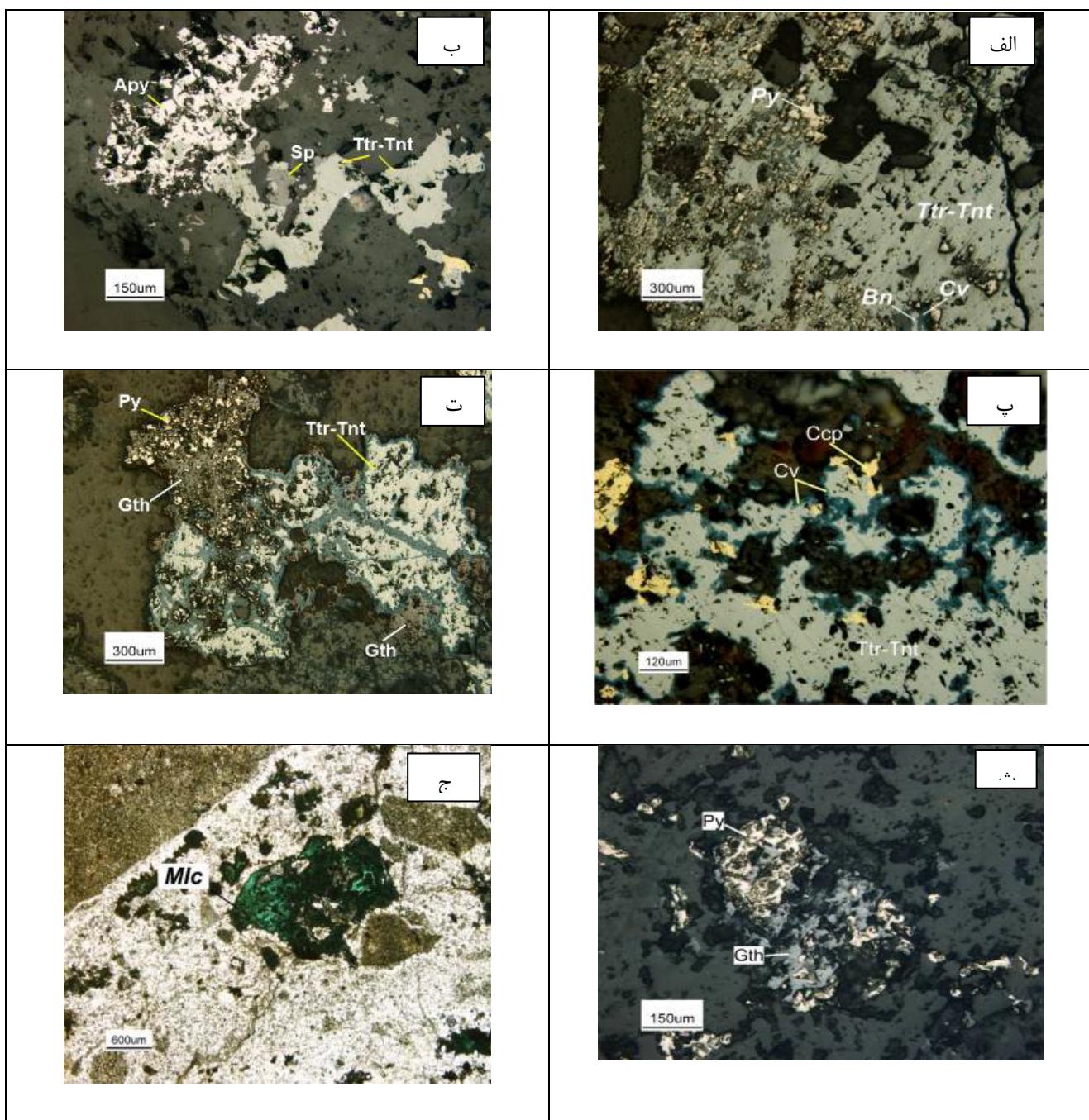
شکل ۴ تصاویر میکروسکوپی از کانی‌های مختلف تشکیل دهنده کانسنگ: (الف) بلورهای ریز تا متوسط کلسیت (Cal) و کوارتز (Qz) به همراه کانه‌های کدر (Opq)، در نور قطبیده متقطع XPL، (ب) بلور بی‌شکل پیریت (Py) دربرگرفته شده با کالکوپیریت به همراه تراهدریت-تنانتیت (در نور قطبیده ساده، PPL؛ پ) جانشینی گستردۀ کالکوپیریت (Ccp) با تراهدریت-تنانتیت (Ttr-Tnt) در PPL، (ت) جانشینی کالکوپیریت (در نور قطبیده ساده، PPL) و تراهدریت-تنانتیت (Ttr-Tnt) از لبه با لایه نازکی از کولولیت (Cv) در PPL، (ث) جانشینی کالکوپیریت (Ccp) و اسفالریت (Sp) با سری تراهدریت-تنانتیت (Ttr-Tnt) در PPL و (ج) جانشینی تراهدریت-تنانتیت (Ttr-Tnt) به جای گالن (Gn) و تبدیل آن به کولولیت (Cv) در PPL.

سری تتراهدریت-تنانتیت به صورت افshan و توده‌ای در متن سنگ دیده شده و گاهی به طور گستردگی از لبه جانشین کانی‌های کالکوپیریت، پیریت، بورنیت، گالن و اسفالریت شده است (شکل‌های ۴ ب تا ۷ ج و ۷ الف). تتراهدریت-تنانتیت خود گاهی از لبه و شکستگی‌ها با کولولیت و گاه گوتیت جانشین شده است. به نظر می‌رسد که تتراهدریت-تنانتیت همراه با فاز کربناتی (کلسیت) تشکیل شده باشد. آرسنوبیریت با فراوانی بسیار کم به صورت نیمه‌شکل‌دار تا بی‌شکل با بافت افshan در زمینه سنگ دیده می‌شود که گاهی جانشین سری تتراهدریت-تنانتیت شده است (شکل ۷ ب).

سری کالکوپیریت-کولولیت در مرحله برونزاد به صورت جانشینی در لبه و شکستگی‌های کانی‌های کالکوپیریت و تتراهدریت-تنانتیت، بورنیت و گالن تشکیل شده است (شکل-۷ های ۴ ت و ۵ پ). با توجه به وجود ناهمسانگردی نارنجی در برخی از بخش‌ها، به نظر می‌رسد که ترکیب شیمیایی این کانی بیشتر نزدیک به عضو پایانی سری کالکوپیریت-کولولیت یعنی کولولیت باشد. گوتیت در مراحل پایانی برونزادی در اثر ورود سیال‌های جوئی از دگرسانی پیریت، کالکوپیریت و تتراهدریت-تنانتیت و به صورت بی‌شکل تشکیل شده است (شکل ۷ ت). ملاکیت در مقاطع بررسی شده فراوانی کمی دارد و در حفره‌های سنگ دیده می‌شود (شکل ۷ ث). این کانی در بخش‌های اکسیدی رگه‌های مس و نواحی برونزاد یافت شده و در اثر خنثی‌سازی محلول‌های اسیدی فرورو و دارای مس ناشی از اکسایش سولفیدهای مس طی برخورد با توده‌های کربناتی شکل می‌گیرد.

دو پهنه اصلی برونزاد و درونزاد در منطقه قابل تشخیص هستند. پهنه درونزاد در عمق و در اثر ایجاد جریان سیال گرمابی با خاستگاه اغلب ماقمایی رخ داده، در حالی که پهنه برونزاد سطحی‌تر بوده و ناشی از ایجاد جریان سیال گرمابی با خاستگاه اغلب جوی است. از جمله کانی‌های اولیه تشکیل شده در پهنه درونزاد، پیریت و از سیلیسی به کانی‌های پایانی تشکیل شده در پهنه برونزاد، گوتیت است. طی تغییر فاز درونزاد به برونزاد در منطقه، رگه‌ها از سیلیسی به کلسیتی تبدیل شده‌اند که در نشان دهنده تغییر ماهیت سیال گرمابی از اسیدی به قلیایی است. از سویی، رگه‌های سیلیسی بیشتر همراه با کالکوپیریت و رگه‌های کلسیتی با کولولیت و گوتیت تشکیل شده‌اند. کانه‌زایی درونزاد منطقه شامل کالکوپیریت، گالن و پیریت و کانه‌زایی برونزاد منطقه شامل گوتیت و ملاکیت است.

پیریت به صورت شکل‌دار تا نیمه شکل‌دار، ریز تا متوسط بلور و با بافت افshan در زمینه سنگ دیده می‌شود. پیریت گاهی با کالکوپیریت در بر گرفته شده است که نشان دهنده فاز ابتدایی کانه‌زایی در رگه و رگچه‌های منطقه است (شکل ۷ ب). این کانی با تتراهدریت-تنانتیت و گاه گوتیت جانشین شده است. کالکوپیریت بصورت افshan و ریزبلور یافت می‌شود و از لبه اغلب با تتراهدریت-تنانتیت و گاه با اسفالریت جانشین شده است (شکل ۷ پ). کالکوپیریت گاهی بلورهای کوچکی از پیریت را دربرگرفته است که می‌تواند نشان دهنده تشکیل این کانی پس از پیریت در توالی همبازایی باشد. کالکوپیریت گاهی از لبه و در راستای شکستگی‌ها طی فرایند برونزادی به کولولیت و گوتیت دگرسان شده است (شکل ۷ ت). در مواردی که جانشینی به طور فزاینده رخ داده است، بقایایی از کالکوپیریت به صورت بازماندی و به شکل جزیره‌ای دیده می‌شود. اسفالریت به مقدار جزیی در بخش‌هایی همراه با کانی کالکوپیریت و تتراهدریت-تنانتیت دیده می‌گردد (شکل ۷ پ). اسفالریت گاه با تتراهدریت-تنانتیت جانشین شده است (شکل ۷ ث). براساس بافت‌های موجود، به نظر می‌رسد که این کانی پس از کالکوپیریت و کمی پس از تتراهدریت-تنانتیت در توالی همبازایی تشکیل شده است. گالن به مقدار بسیار کم در مقاطع بررسی شده دیده می‌شود. این کانی بی‌شکل است و جانشینی با سولفوسالت‌ها و بورنیت را نشان می‌دهد. این کانی گاهی در اثر فرایندهای برونزادی از لبه به کولولیت تبدیل شده است (شکل ۷ ج). بورنیت به صورت بی‌شکل دیده می‌شود (شکل ۷ الف). این کانی جانشین گالن و کالکوپیریت اولیه شده که وجود قطعه‌های شناوری از این کانی‌ها درون بورنیت نشان-دهنده تقدم تشکیل این کانی‌ها نسبت به بورنیت است. در اثر غنی سازی ثانویه، خود بورنیت نیز از لبه در حال تبدیل به کانی‌های ثانویه کالکوپیریت-کولولیت است. بورنیت همچنین دارای بافت نآمیختگی با کالکوپیریت است. این بافت به شکل تیغه‌هایی از کانی کالکوپیریت درون بورنیت مشخص بوده و نشان دهنده جدایش کانی کالکوپیریت از بورنیت در اثر سرد شدن است. با توجه به مطالب بیان شده، می‌توان نتیجه گرفت که فرایند تشکیل بورنیت شامل دو مرحله بوده است: نخست این که بورنیت پس از کالکوپیریت و گالن و بر اثر جانشینی این کانی‌ها تشکیل شده است و دوم آن که فرایند تشکیل بورنیت همراه با کالکوپیریت بوده به طوری که ایجاد بافت نآمیختگی (exsolution) نشان دهنده تبلور همزمان دو کانی است.



شکل ۵ تصاویر میکروسکوپی از کانی‌های مختلف تشکیل دهنده کانستنگ: (الف) افشار با تتراهریت-تنانتیت (Ttr-Tnt) در PPL، (ب) جانشینی سری تتراهریت-تنانتیت (Ttr-Tnt) با آرسنوبیریت (Apy) در PPL، (پ) کوولیت (Cv) بصورت لایه‌ای نازک جانشینی تتراهریت-تنانتیت (Ttr-Tnt) شده است (PPL)، (ت) کانی‌سازی پیریت (Py) به صورت پراکنده در متن سنگ که به گوتیت (Gth) دگرسان شده است (PPL)، (ث) رخداد پیریت (Py) و گوتیت (Gth) در سنگ (Gth) در سنگ (PPL)، (و) ج) پرشدن حفره‌های سنگ با مالاکیت (Mlc) در PPL.

مستقیم کانی‌ها از سیال کانه‌زا هستند، بررسی شدند. این نمونه‌ها شیری‌رنگ و دربردارنده تعداد زیادی میانبار سیال کوچک و بسیار کوچک هستند. بنابراین، تشخیص میانبارهای اولیه مجزا از میانبارهای ثانویه یا ثانویه دروغین ناممکن است.

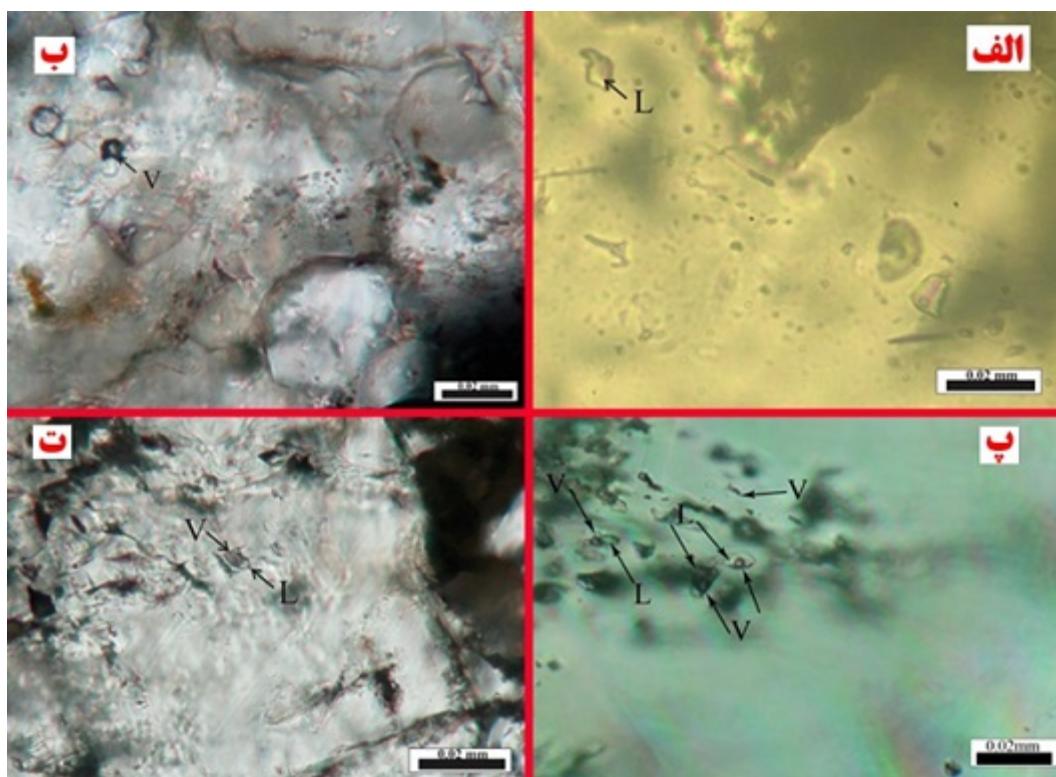
**میانبارهای سیال
سنگ نگاری میانبارهای سیال**
میانبارهای سیال در منطقه کانی‌سازی جیزان برای نمونه‌هایی از کوارتز همراه با کانه‌زایی نوع رگه-رگچه‌ای که نمایانگر نهشت

از مایع ($L+V$) از یک فاز مایع و یک حباب بخار تشکیل شده-اند (شکل ۶ پ) و طی اندازه‌گیری‌های گرمایشی به فاز مایع همگن می‌شوند. حجم فاز بخار در این میانبارها ۱۰ تا ۳۰ درصد حجم میانبار است. اندازه این میانبارها از ۲ تا ۲۰ میکرون تغییر می‌کند. این میانبارها دارای شکل‌های نامنظم، کروی، بیضوی و تخت هستند، و فراوانی به نسبت زیادی در نمونه‌ها دارند. میانبارهای دوفازی غنی از مایع اغلب به صورت تکی و کمتر انباشتی دیده می‌شوند. میانبارهای سیال دوفازی غنی از گاز ($V+L$) با فراوانی بسیار کمتری نسبت به میانبارهای دوفازی غنی از مایع ($L+V$) در نمونه‌ها قابل تشخیص هستند (شکل ۶ ت). حجم فاز بخار در این میانبارها حدود ۷۰ تا ۹۵ درصد حجم میانبار است. اندازه این میانبارها از ۵ تا ۱۵ میکرون تغییر می‌کند. این میانبارها بیشتر با شکل‌های نامنظم و به صورت تکی دیده می‌شوند.

ریزدماسنجی میانبارهای سیال
اندازه‌گیری‌های ریزدماسنجی برای ۱۴۴ میانبار سیال دوفازی غنی از مایع انجام شد (جدول ۱).

از این رو، اندازه‌گیری‌ها در بخش‌هایی از نمونه‌ها با مقدار کمتری میانبار سیال انجام شده و می‌توان گروه‌های مختلف میانبارها را از هم تفکیک نمود. بر اساس فازهای موجود در میانبارهای سیال در دمای اتاق [۲۲، ۲۱]، چهار نوع میانبار سیال اولیه شامل تک فاز مایع (L)، دو فاز غنی از مایع ($L+V$)، دو فاز غنی از گاز ($V+L$)، و تک فاز غنی از گاز (V) قابل تشخیص است.

میانبارهای سیال تک فاز مایع که تنها از فاز مایع (L) تشکیل شده‌اند، به نسبت کمیاب هستند (شکل ۶ الف). اندازه این میانبارها بین ۲ تا ۱۰ میکرون تغییر می‌کند. این میانبارها به صورت منفرد یافت می‌شوند و از نظر شکل اغلب نامنظم هستند. میانبارهای سیال تک فاز غنی از گاز تنها از فاز گازی (V) تشکیل شده‌اند و به رنگ تیره هستند (شکل ۶ ب). این میانبارها با فراوانی به نسبت زیاد و به صورت انباشتی، دنباله‌ای و منفرد در نمونه‌ها دیده می‌شوند. اندازه آنها از ۲ تا ۳۰ میکرون تغییر می‌کند. این میانبارها به شکل‌های کروی، بیضوی و نامنظم دیده می‌شوند. میانبارهای سیال دوفازی غنی



شکل ۶ الف) میانبارهای سیال تک فاز مایع. ب) میانبارهای سیال تک فاز غنی از گاز. پ) میانبارهای سیال دو فازی غنی از مایع. ت) میانبارهای سیال دو فازی غنی از گاز.

جدول ۱ چکیده نتایج برآمده از بررسی میانبارهای سیال.

نوع میانبار	اندازه(μm)	درجه پرشدنگی	شکل	$T_{m, ice}$ (°C)	T_h (°C)	(wt% NaCl eq.)	چگالی(g/cm³)	N
L+V	2-20	0.7-0.9	- نامنظم، کروی، بیضوی، تخت	-22.28/-2.80	96-269	4.65-23.80	0.77-1.08	144

افتادن میانبارهای سیال طی رشد کانی است، یا شاید ناشی از بازتعادل گرمایی مجموعه میانبارهای سیال پس از به دام افتادن باشد. داده‌های میانبارهای سیال در کانی کوارتز منطقه جیزوان، نه روندهای همگرا را در نمودار دمای همگن‌شدنگی نسبت به شوری مشخص می‌کند (شکل ۸) [۲۳]، و نه یک توزیع دوگانه یا گسسته را در نمودار ستونی توزیع دماهای همگن‌شدنگی به نشان می‌دهد (شکل ۷ ب) [۲۴، ۲۵]. بنابراین، داده‌ها شاهدی برای باز تعادل گرمایی پس از به دام افتادن میانبارهای سیال در اثر نشت و پرشدن دوباره یا کشیدگی ارائه نمی‌کنند. حساسیت میانبارهای سیال به بازتعادل گرمایی در اثر کشیدگی با افزایش اندازه میانبار سیال به شدت افزایش می‌یابد [۲۶، ۲۷] و بنابراین باید در میانبارهای بزرگتر بیشتر یافته شود. شاهدی برای این اثر نیز در داده‌های منطقه جیزوان دیده نمی‌شود، زیرا رابطه‌ای بین اندازه میانبارهای سیال و دمای همگن‌شدنگی آنها وجود ندارد (ضریب همبستگی $R^2 = 0.035$). اگرچه احتمال کشیدگی میانبارهای سیال را نمی‌توان به طور کامل رد کرد، نبود شواهدی برای هر گونه تغییرات دمایی در داده‌های میانبارهای سیال نشان می‌دهد که گستره وسیع دماهای همگن‌شدنگی ناشی از تغییرات پس از به دام افتادن میانبارهای سیال نیست، بلکه بیانگر گستره واقعی دماهای به دام افتادن آنهاست. کم و زیاد شدن فشار طی فرآیند کانی‌سازی می‌تواند دلیلی برای دست کم بخشی از گستردگی دماهای همگن شدنگی باشد.

بررسی سرمایش

برای اطمینان از انجام کامل میانبارهای سیال در بررسی‌های سرمایش آنها تا دماهای $100 - 110$ °C سرد شدند. متأسفانه به دلیل تشکیل فازهای نیمه پایدار، دمای اولین ذوب یخ (T_e) قابل اندازه‌گیری نبود. دمای آخرین ذوب یخ (T_m, ice) در گستره $22 - 28$ °C تا $28 - 40$ °C است. شوری محاسبه شده براساس دماهای آخرین ذوب یخ (T_m, ice) در گستره $46 - 85$ تا $85 - 23$ درصد وزنی معادل $NaCl$ با بیشترین فراوانی در ۲۱ درصد وزنی معادل $NaCl$ قرار دارد (جدول ۱ و شکل ۷ الف).

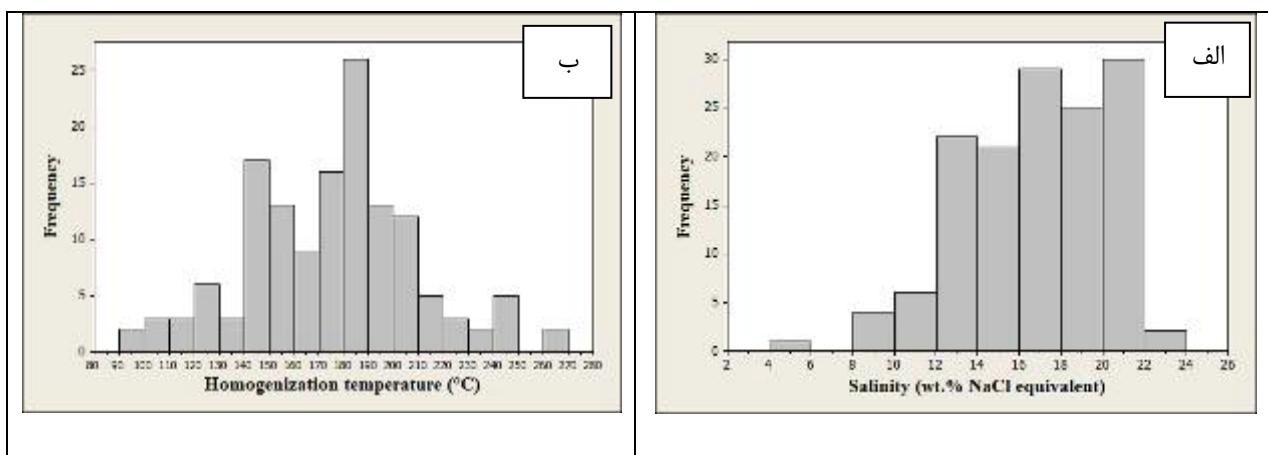
بررسی گرمایش

طی بررسی‌های گرمایش، همه میانبارها به فاز مایع همگن شدند. دمای همگن‌شدنگی (T_h) از 95.6 تا 268.9 °C با بیشترین فراوانی در 185 °C است (جدول ۱ و شکل ۷ ب). بر پایه دماهای همگن‌شدنگی و شوری میانبارهای سیال، صرف نظر از شرایط به دام افتادن آنها، می‌توان چگالی سیال را مشخص کرد [۱۹]. بر این اساس، چگالی میانبارهای سیال در گستره $77 - 108$ تا $108 - 110$ گرم بر سانتی‌متر مکعب قرار دارد.

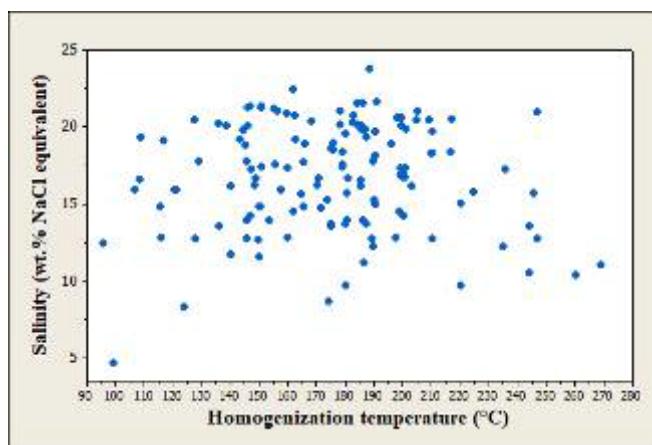
بحث

دماهای همگن‌شدنگی

دماهای همگن‌شدنگی (T_h) میانبارهای سیال در کانی کوارتز منطقه جیزوان در گستره وسیعی از $95.6 - 268.9$ °C تا 185 °C قرار دارند. این گستره دماهای نشانگر دماهای واقعی به دام



شکل ۷ (الف) نمودار ستونی توزیع شوری و (ب) نمودار ستونی توزیع دماهای همگن شدنگی در میانبارهای سیال در کانی کوارتز منطقه جیزوان.



شکل ۸ نمودار دماهای همگن شدگی نسبت به شوری برای میانبارهای سیال در کانی کوارتز منطقه جیزوان.

ماگمایی با شوری بالا و آب‌های جوی با شوری پایین (کمتر از ۵ درصد وزنی معادل NaCl) تولید می‌شود، قرار می‌گیرند. بنابراین، داده‌های میانبارهای سیال نشان می‌دهد که سیال مسئول کانی سازی در منطقه جیزوان یک سیال مرکب بوده که در اثر آمیختگی آب‌های ماگمایی با آب‌های جوی شکل گرفته است. تولید سیال‌های کانی‌ساز در اثر آمیختگی مایع ماگمایی و آب‌های جوی برای بسیاری از کانسارهای مس پورفیری دیده می‌شود [۳۰]. براساس نمودار دمای همگن شدگی نسبت به شوری (شکل ۱۰) [۳۱]، میانبارهای سیال در منطقه جیزوان همپوشی بسیاری با قلمرو کانسارهای فراگرمایی و نوع ایرلندي دارد.

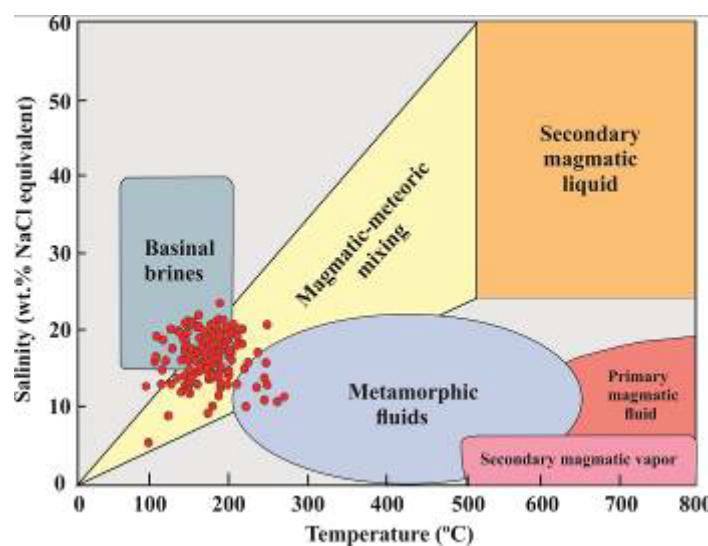
تهنشنست کانی‌ها

مهم‌ترین فرآیندهایی که می‌توانند باعث تهنشنست کانی‌ها در منطقه جیزوان شده باشند، عبارتند از جوشش سیال، سرد شدن و آمیختگی سیال. جوشش سیال مهم‌ترین فرآیندی است که باعث آغاز تهنشنست فلزها در بسیاری از کانسارها، به ویژه در سامانه‌های فراگرمایی می‌شود. در اعمق تا ۲ کیلومتری سامانه‌های گرمایی، جوشش مهم‌ترین فرایند کنترل کننده پارامترهای شیمیایی کلیدی برای تهنشنست کانی‌ها چون pH، ترکیب سیال و حلalit کانی است. در مقابل، فرایندهای دیگری چون سرد شدن هدایتی ساده توسط سنگ‌های دیواره و آمیختگی با آب زیرزمینی رقیق و سرد، در تشکیل کانسارهای فراگرمایی اثر کمتری دارد [۳۲]. چنان که بیان شد، حضور میانبارهای سیال با نسبت‌های متفاوت مایع به بخار، رخداد جوشش سیال طی کانی سازی در منطقه جیزوان را تأیید می‌کند.

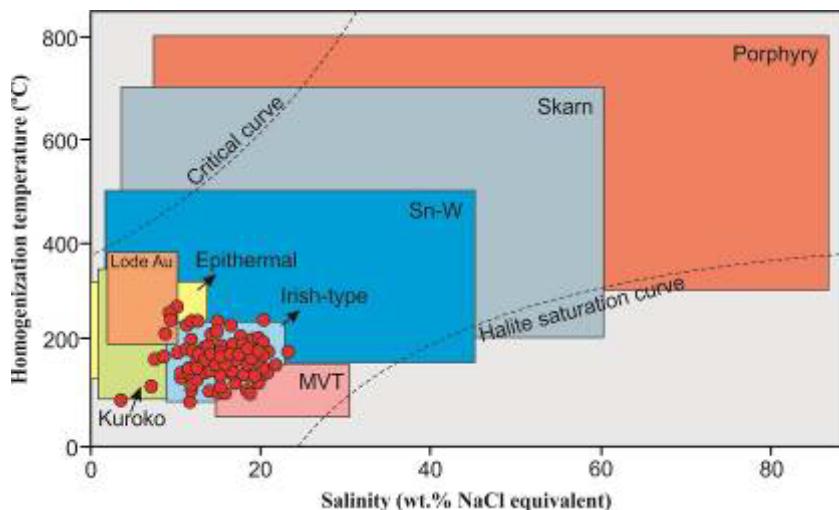
حضور میانبارهای سیال با نسبت‌های مختلف مایع به گاز (تک‌غاز مایع، دوفازی غنی از مایع، دوفازی غنی از گاز و تک‌غاز غنی از گاز) که نشانگر وجود همزمان بخار و مایع در محلول کانی‌ساز است، معیار اصلی برای تشخیص جوشش سیال طی کانی‌سازی است [۲۸]. بنابراین، وجود میانبارهای سیال با نسبت‌های متفاوت مایع به سیال می‌تواند دلیلی بر رخداد جوشش در سیال کانی‌ساز در منطقه جیزوان باشد. در شرایطی که میانبارهای سیال از محلول‌های در حال جوشش به دام می‌افتدند، دمای همگن شدگی میانبار با دمای واقعی به دام افزاتن آن (دمای واقعی تشکیل کانی) برابر است [۲۹]. از این‌رو، دماهای همگن شدگی میانبارهای سیال که براساس بررسی‌های گرمایش بدست آمده است، بیانگر دمای واقعی تشکیل کانی کوارتز و سایر کانی‌هایی که از نظر همبزایی با کوارتز تشکیل شده‌اند، است.

خاستگاه سیال‌های کانی‌ساز

داده‌های میانبارهای سیال نشان می‌دهد که کانی‌سازی در منطقه جیزوان با سیال‌هایی با شوری پایین تا به نسبت بالا (۴۶۵ تا ۲۳۸ درصد وزنی معادل NaCl) و در گستره دمایی ۹۵,۶ تا ۲۶۸,۹ °C با بیشترین فراوانی در ۱۸۵ °C انجام شده است. گستره شوری میانبارهای سیال حضور دو نوع سیال طی کانی‌سازی را نشان می‌دهد: یکی با شوری بالا (بیش از ۲۰ درصد وزنی معادل NaCl) و دیگری با شوری به نسبت پایین (کمتر از ۵ درصد وزنی معادل NaCl). نقاط مربوط به داده‌های میانبارهای سیال در نمودار توزیع تقریبی دما - شوری برای محلول‌های گرمایی با خاستگاه‌های مختلف (شکل ۹) [۳۰]، به خوبی در گستره دمایها و شوری‌هایی که با آمیختگی مایع



شکل ۹ توزیع تقریبی دما-شوری برای محلول‌های گرمابی با خاستگاه‌های مختلف [۲۴].



شکل ۱۰ نمودار دمای همگن‌شدگی-شوری که قلمرو میانبارهای سیال در کانسارهای مختلف را نشان می‌دهد. گفتنی است قلمرو کانسارها را نباید قطعی در نظر گرفته شوند و ترکیب‌هایی در خارج از گستره‌های نشان داده شده وجود دارند [۲۵].

نشان دهنده این واقعیت باشد که سیال‌هایی از سطوح مختلف پوسته (شامل آب جوی کم عمق) طی کانی سازی به سرعت به تعادل گرمابی رسیده‌اند.

فرآیند آمیختگی سیال نیز با داده‌های میانبارهای سیال تایید می‌شود. چنان که شکل ۹ نشان می‌دهد، آمیختگی یک شوراب ماقمایی با شوری به نسبت بالا و آب‌های جوی با شوری پایین رخ داده و منجر به تشکیل سیال‌هایی با شوری بین این دو سیال شده است.

فشار و عمق کانی سازی

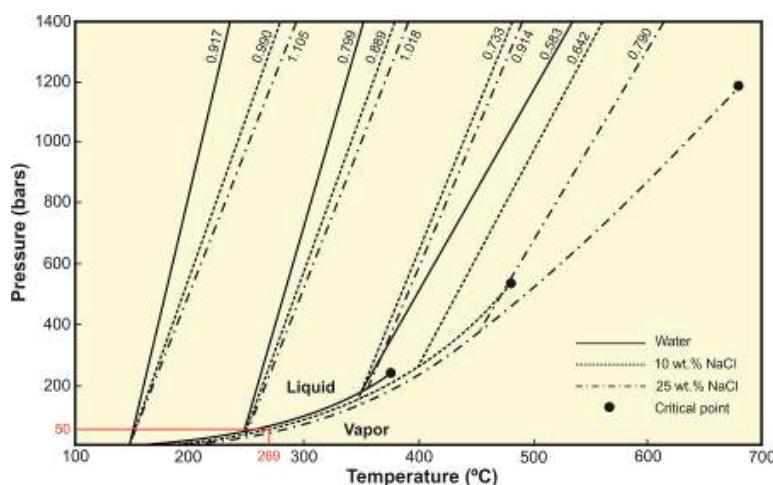
در شرایط رخداد جوشش در سیال کانی‌ساز، فشار روی منحنی مایع - بخار در دمای همگن‌شدگی فشار به دام افتادن میانبار

فرایند سرد شدن با گستره‌ی وسیع دمای‌های همگن شدگی میانبارهای سیال تأیید می‌شود. سرد شدن می‌تواند به دلیل نبود تعادل گرمابی بین سیال بالارو و گرم با سنگ میزبان، یا آمیختگی با یک سیال سرددتر در محل تهنشست کانی‌ها باشد. اگرچه آمیختگی آب‌های ماقمایی با آب‌های جوی طی کانی-سازی در منطقه جیزوان رخ داده است، اما نبود همبستگی بین دمای همگن‌شدگی و شوری (شکل ۸) نشان می‌دهد که این آب‌های جوی سرد نبوده‌اند و امكان سرد شدن در اثر آمیختگی با آب‌های سرد را رد می‌کند. از این رو، نبود تعادل گرمابی بین سیال گرمابی و سنگ‌های میزبان محتمل‌ترین سازوکار سرد شدن است. شباهت دمایی بین انواع مختلف سیال‌ها می‌تواند

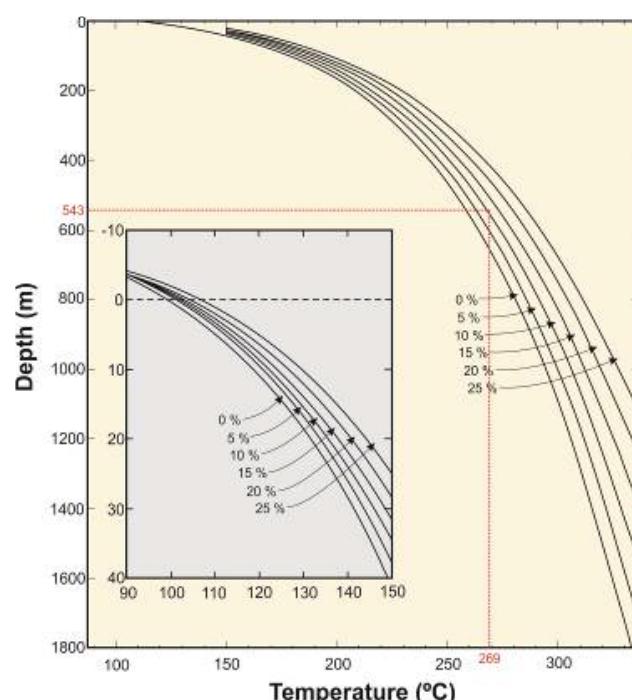
تعیین نمود (شکل ۱۲). این نمودار اثر شوری بر رابطه دما- عمق برای شورابهای با ترکیب ثابت، که در یک سامانه رگه- ای محصور شده‌اند، اما آزادانه با سطح ارتباط دارند، یا در هر جای دیگر، در نقطه جوش برای فشار ایستابی را نشان می‌دهد. با توجه به گستره دمایی حدود ۹۵ °C تا ۲۶۹ °C برای میانبارهای سیال در منطقه جیزوان، عمق کانی‌سازی از صفر تا ۵۴۳ متر متغیر است. بنابراین، کانی‌سازی در منطقه مورد بررسی در عمق تا ۵۴۳ متر از سطح زمین رخ داده است.

سیال را نشان می‌دهد [۳۳، ۲۹] (شکل ۱۱). دمای همگن- شدگی (T_h) میانبارهای سیال در کانی کوارتز منطقه جیزوان از نزدیک به ۹۵ °C تا ۲۶۹ °C تغییر می‌کند. با توجه به شکل ۱۱، فشار متناظر با این دمایا از صفر تا ۵۰ بار متغیر است. بنابراین، کانی‌سازی در منطقه جیزوان در فشارهای تا ۵۰ بار رخ داده است.

در شرایطی که جوشش در سیال کانی ساز رخ داده است، عمق تشکیل کانی‌سازی را می‌توان به کمک نمودار هاس [۳۴]



شکل ۱۱ بخشی از نمودار فازی آب و محلول‌های با شوری ۱۰ و ۲۵ درصد وزنی معادل NaCl که منحنی‌های مایع- بخار و چند خط هم غلظت را نشان می‌دهد [۲۳].



شکل ۱۲ منحنی‌های نقطه جوش مایع و شورابهای با ترکیب ثابت. نقطه جوش مایع در فشار 10^3 بار (۱۰۰ اتمسفر) است که معادل فشار جو در سطح دریا است [۲۷].

- relation to sedimentary areas*", Journal of the Oil Association, No. 8 (1980).
- [3] Aghanabati S. A., "The Geology of Iran", Geological Survey of Iran. 600p (2004).
- [4] Ghorbani M., "The Economic Geology of Iran", Mineral Deposits and Natural Resources. Springer, London, (2013) 569p.
- [5] Khakzad A., Hajalilou B., "Investigation on Pb, Zn and Cu mineralization in northwest of Zanjan and east of Mianeh and their relation to pervasive hydrothermal alteration", In 3rd Symposium of Geological Society of Iran, University of Shiraz, Shiraz, Iran (in Persian with English abstract) (1999).
- [6] Feyzi M., Ebrahimi M., Kouhestani H., Mokhtari M. A. A., "Geology, mineralogy and geochemistry of Aghkand copper mine (North of Zanjan, Tarom-Hashtjin area)", Journal of Economic Geology, 8 (2) (2017) 507-524.
- [7] Kouhestani H., Mokhtari M. A. A., Qin K., Zhao J., "Fluid inclusion and stable isotope constraints on ore genesis of the Zajkan epithermal base metal deposit, Tarom-Hashtjin metallogenic belt, NW Iran", Ore Geology Reviews, 109 (2019) 564-584.
- [8] Yasami N., Ghaderi M., "Distribution of alteration, mineralization and fluid inclusion features in porphyry-high sulfidation epithermal systems: The Chodarchay example", NW Iran. Ore Geology Reviews, 104 (2019) 227–245.
- [9] Abedini A., "Geochemistry of Argillic Alteration: A Case Study from the Jizvan Area, Tarom-Hashtjin Zone", Geosciences, 26 (104) (2017) 3-16.
- [10] Abedini A., Calagari A. A., Nasseri H., "Mineralization and REE geochemistry of the hydrothermal quartz and calcite of the Helmesi vein-type copper deposit, NW Iran", Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie, Abhandlungen, 281 (2016) 123-134.
- [11] Faridi M., Anvari A., "Geological map 1/100000 Hashtjin Ardabil province", Geological Survey of Iran (2000).
- [12] Moayyed M., Talebi Rad F., Ravankhah A., Baghernejad M., Behmaram H., Ahmadi M., Hosseinzadeh N., "Geological map of Jizvan (scale 1:5000)", Iranian Mines & Mining Industries Development & Renovation (IMIDRO) (2018).
- [13] Clark G. C., Davis R. G., Hamzehpour B., Jones C. R., "Explanatory text of the Bandar-e-Anzali quadrangle map, scale 1: 250,000", Geological Survey of Iran, 198 (1975).

برداشت

کانه‌زایی در منطقه جیزوان به شکل رگه-رگچه‌ای همراه با رگه‌های سیلیسی در واحدهای سنگی اغلب شامل توف رخ داده است. کانه‌زایی رگه-رگچه‌ای در گسل‌ها، درزهای شکستگی‌های سنگ‌های میزبان در اثر تنشیست مستقیم کانه‌های سولفیدی (پیریت، کالکوپیریت، بورنیت، آرسنوبیریت، گالن و اسفالریت) و کوارتر از سیال‌های گرمایی رخ داده است. در مرحله برونزاد، کانه‌های سولفیدی به کانه‌های ثانویه‌ای چون سری تتراهریت-تاناتیت، سری کالکوسیت-کولویت، گوتیت و مالاکیت دگرسان شده‌اند.

کانی‌سازی در منطقه جیزوان توسط سیال‌های با شوری پایین تا به نسبت بالا (۴۶۵ تا ۲۳۸ درصد وزنی معادل NaCl) و در گستره دمایی ۹۵,۶ تا ۲۶۸,۹ درجه سانتی‌گراد با بیشترین فراوانی در ۲۱ درصد وزنی معادل NaCl در ۱۸۵ درجه سانتی‌گراد انجام شده است. این گستره شوری، حضور و نقش دو نوع سیال با شوری‌های متفاوت در کانی‌سازی را نشان می‌دهد که شامل سیالی با شوری بالا (بیش از ۲۰ درصد وزنی معادل NaCl) با خاستگاه ماقمایی و یک سیال با شوری به نسبت پایین (کمتر از ۵ درصد وزنی معادل عادل NaCl) با خاستگاه آبهای جوی است. از این رو، براساس داده‌های میانبارهای سیال، سیال مسئول کانی‌سازی در منطقه جیزوان سیالی مرکب بوده که از آمیختگی آبهای ماقمایی با آبهای جوی تشکیل شده است. چنین فرایندی در بسیاری از کانسارهای گرمایی در ارتباط با سامانه‌های پوروفیری دیده می‌شود. این داده‌ها در نمودار دمای همگن‌شدگی نسبت به شوری همپوشی بسیاری با قلمرو کانسارهای فراگرمایی دارد.

قدرتانی

این مقاله برآمده از بخشی از فعالیت‌های پژوهشی لازم برای کسب درجه دکتری تخصصی زمین‌شناسی اقتصادی نویسنده اول از دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران است. نویسنده‌گان صمیمانه از داوران مجله بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران که با پیشنهادات و راهنمایی‌های ارزنده خود باعث بهبود کیفیت مقاله شدند، سپاسگزارند.

مراجع

- [1] Nabavi M. H., "An introduction to the geology of Iran", Geological survey of Iran, 109p (1976).
- [2] Eftekharnezhad J., "Separation of different parts of Iran in terms of construction status in

- [24] Barker C. E., Goldstein R. H., "Fluid inclusion technique for determining maximum temperature and its comparison to the vitrinite reflectance geothermometer", *Geology* 18 (1990) pp. 1003-1006.
- [25] Fall A., Bodnar R. J., "How precisely can the temperature of a fluid event be constrained using fluid inclusions?", *Economic Geology*, 113 (2018) 1817-1843.
- [26] Lancazette A., "Application of linear elastic fracture mechanics to the quantitative evaluation of fluid inclusion decrepitation", *Geology* 18 (1990) pp. 782-785.
- [27] Goldstein R. H., Reynolds T. J., "Systematics of fluid inclusions in diagenetic minerals", Society of Sedimentary Geology Short Course 31 (1994) 199 p.
- [28] Van den Kerkhof A. M., Hein U. F., "Fluid inclusion petrography", *Lithos*, 55 (2001) 27-47.
- [29] Roedder E., Bodnar R. J., "Geologic pressure determinations from fluid inclusion studies. Annual review of earth and planetary sciences", 8(1) (1980) 263-301.
- [30] Bodnar R.J., "Hydrothermal Solutions. in Encyclopedia of Geochemistry, C.P. Marshall and Fairbridge eds.", Kluwer Academic Publishers, Lancaster, (1999) 333-337.
- [31] Wilkinson J. J., "Fluid inclusions in hydrothermal ore deposits", *Lithos*, 55 (2001) 229-272.
- [32] Canet C., Franco S. I., Prol-Ledesma R. M., González-Partida E., Villanueva-Estrada R. E., "A model of boiling for fluid inclusion studies: Application to the Bolaños Ag–Au–Pb–Zn epithermal deposit, Western Mexico", *Journal of Geochemical Exploration* 110 (2011) 118–125.
- [33] Chi G., Diamond L. W., Lu H., Lai J., Chu H., "Common problems and pitfalls in fluid inclusion study: a review and discussion", *Minerals*, 11, 7(1) (2021) 1-23.
- [34] Haas J. L., "The effect of salinity on the maximum thermal gradient of a hydrothermal system at hydrostatic pressure", *Economic geology*, 66 (2021) 940-946.
- [14] Moayyed M., "Petrological investigations of the Western Alborz- Azarbaijan Tertiary volcano-plutonic belt with special view on Hashjin area", Ph.D. Thesis, Faculty of Earth Sciences, Shahid Beheshti University, 328p (2000).
- [15] Yousefi Babil A., Moayyed M., Ravankhah A., "Structural and geomechanical study of deformation in Jizvan Alteration zone (northeast of Zanjan). Thirty-sixth Assembly and the Third International Congress of Earth Sciences", Geological Survey and Mineral Exploration Organization, Tehran, Iran (2017).
- [16] Moayyed M., Talebi Rad F., Ravankhah A., Baghernejad M., Behmaram H., Ahmadi M., Hoseinzadeh N., "Geological map of Jizvan (scale 1:25000)", Iranian Mines & Mining Industries Development & Renovation (IMIDRO) (2018).
- [17] Hajaliloo B., "Tertiary metallurgy in western Alborz-Azerbaijan (Mianeh-Hashtrood) With a special view on the Hashtjin area. Ph.D. Thesis, Faculty of Earth Sciences", Shahid Beheshti University, 275p (1999).
- [18] Hadizadeh H., Kalagary A., Abedini A., "Mineralogy, type and metallogenic power of alteration spots on the banks of the Ghezel Ozon River in northeastern Zanjan", *Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy* (2006) 23-37.
- [19] Mehrabi B., Siani M. G., Goldfarb R., Azizi H., Ganerod M., Marsh E. E., "Mineral assemblages, fluid evolution, and genesis of polymetallic epithermal veins, Glojeh district, NW Iran", *Ore Geology Reviews*, 78 (2016) 41-57.
- [20] Bodnar R.J., "Revised equation and table for determining the freezing point depression of H₂O-NaCl solutions. *Geochimica et Cosmochimica Acta*", 57 (1993) 683-684.
- [21] Roedder E., "Fluid inclusions. Reviews in Mineralogy", Mineral. Soc. America, Washington., v. 12 (1984) 644p.
- [22] Sheppard S. M., Harris C., "Hydrogen and oxygen isotope geochemistry of Ascension Island lavas and granites: variation with crystal fractionation and interaction with sea water", *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 91 (1985) 74-81.
- [23] Goldstein R.H., "Petrographic analysis of fluid inclusions. In: I. Samson, A. Anderson and D. Marshall (Eds.), *Fluid Inclusions: Analysis and Interpretation*", Mineral. Assoc. Canada, Short Course Ser. 32, pp.9-53.