



Research Article

Surface and sub-surface studies on geology and characteristics of ore-forming fluids in the Niaz porphyry copper prospect, west of Meshginshahr

Hadi Mohammadian^{*1} , Ali Asghar Calagari¹, Vartan Simmonds¹, Kamal Siahcheshm¹

1-Department of Earth Sciences, Faculty of Natural Sciences, University of Tabriz, Iran

Received: 06 Jul 2023 Accepted: 02 Des 2023

Extended Abstract

Introduction: The Niaz Cu prospect is located 25 km west of Meshkinshahr, east of the Qaradagh metallogenic zone. The intrusion Oligo-Miocene magmatic bodies into the Paleocene-Eocene rock units has led to alteration and mineralization. The rock units of this area include batholiths I and II (Khanbaz granodiorite and Khankandi granodiorite), Niaz quartz-monzonite/ quartz-monzodiorite and ore-bearing rhyodacite breccia.

Materials and Methods: In this research, the geological features, alteration, mineralization and physicochemical conditions of mineralizing fluids have been studied. In this regard, sampling from altered, mineralized zones and drilling cores were carried out and 23 samples were analyzed by XRF and 18 samples by ICP-OES methods and microthermometric measurements were performed on 8 doubly-polished thin sections.

Results and Discussion: The intrusive units have high-K calc-alkaline to shoshonitic nature, and the geochemical characteristics of their trace elements indicate similarities with subduction-related magmas. The negative anomaly of Ti and Nb in these rocks can be due to the magmatism related to the subduction processes, as well as the stability of the phases containing these elements during partial melting or their separation during the differentiation process. The enrichment of Pb, La, K, U, and Th elements and the depletion of Sr, Ti, and Nb can be attributed to crustal contamination. Hypogene alterations at Niaz include potassic, phyllic, propylitic and intermediate argillic types. Mineralization has occurred during early, middle, and late stages. Based on the mineralogy and paragenetic sequence, at least five types of veins/veinlets can be distinguished in Niaz deposit. Group A veinlets contain quartz+pyrite+chalcopryrite+magnetite, group B veins are also present in the potassic and phyllic alteration zones, veinlets of group C are mainly formed in the middle stage of mineralization, group D veins are mostly observed in the phyllic alteration zone, which are formed in the middle and later stages of hydrothermal activities and group E veins are almost devoid of sulfide minerals and mainly contain bright-color minerals (quartz and/or calcite)±tourmaline and are mostly present in the propylitic alteration zone. Studies on fluid inclusions (FIs) within the quartz veinlets showed that there are four types of FIs at room temperature, (1) mono-phase vapor, (2) liquid-rich 2-phase, (3) vapor-rich 2-phase, and (4) multi-phase solid containing daughter solid phases. The ranges of FIs are about 280-360°C in the potassic, 280-360°C and 280-300°C in phyllic and 170-330°C in propylitic alteration zones.

Conclusion: The petrology and petrogenesis of magmatic host rocks, mineralogy, hydrothermal alteration in the Niaz area testify to a porphyry-type Cu mineralization. The main sulfide mineralization includes vein-type pyrite, molybdenite, chalcopryrite, sphalerite and galena. Fluid inclusion microthermometry results show a Th range of 170-360 °C and salinity values of 0.2-60 wt%NaCl_{equiv.}, corresponding to the ranges of porphyry Cu deposits. Boiling and simple colling of ore-bearing fluids were the main processes for ore precipitation.

Keywords: Alteration, Porphyry Cu, Meshginshahr, Fluid inclusion, Niaz.

Citation: Mohammadian, H., Calagari, A.A., Simmonds, V. and Siahcheshm, K., 2024. Surface and sub-surface studies on geology and characteristics of ore-forming fluids, *Res. Earth. Sci.* 15(1), (49-66) DOI: 10.48308/esrj.2021.100925

* Corresponding author E-mail address: H.mohmmadian@tabrizu.ac.ir



بررسی‌های سطحی و زیرسطحی بر روی زمین‌شناسی و ویژگی‌های سیال کانه‌ساز در اندیس مس پورفیری نیاز، غرب مشکین شهر

هادی محمدیان^{۱*} , علی اصغر کلاگری^۱، وارطان سیمونز^۱، کمال سیاه چشم^۱

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

(پژوهشی) دریافت مقاله: ۱۴۰۲/۰۴/۱۵ پذیرش نهایی مقاله: ۱۴۰۲/۰۹/۱۱

چکیده گسترده

مقدمه: اندیس مس نیاز در ۲۵ کیلومتری غرب مشکین‌شهر و شرق زون کانه‌زایی قره‌داغ قرار دارد. از نظر زمین‌شناختی، نفوذ توده‌های آذرین الیگومیوسن در درون واحدهای پالئوسن-ائوسن موجب رخداد دگرسانی و کانه‌زایی شده است. واحدهای سنگی این منطقه شامل باتولیت I و II (گرانودیوریت خان‌باز و گرانودیوریت خانکندی)، کوارتز مونزونیت/کوارتز مونزودیوریت نیاز و واحدهای برشی و کانه‌دار ریوداسیتی است.

مواد و روش‌ها: در این پژوهش به ویژگی‌های زمین‌شناسی، دگرسانی، کانه‌زایی و شرایط فیزیکوشیمیایی سیال کانه‌ساز این کانسار پرداخته می‌شود. در این راستا، مطالعات زمین‌شناسی، مطالعه و نمونه‌برداری از زون‌های دگرسان، کانی‌سازی شده و مغزه‌های حفاری صورت گرفته و ۲۳ نمونه به روش XRF، ۱۸ نمونه به روش ICP-OES مورد آنالیز قرار گرفته و مطالعات ریز دماسنجی میانبارهای سیال بر روی ۸ نمونه رگه‌ای انجام شده است.

نتایج و بحث: واحدهای نفوذی ماهیت کالک آکالن با پتاسیم بالا تا شوشونیتی داشته و ویژگی‌های ژئوشیمیایی عناصر کمیاب در آنها حاکی از تشابه با ماگماهای مرتبط با فروران‌شان است. آنومالی منفی عناصر Ti و Nb در این سنگ‌ها می‌تواند به دلیل ماگماتیسم مرتبط با فرآیند فروران‌شان و همچنین پایداری فازهای حاوی این عناصر در طی ذوب بخشی و یا جدایش آنها در طی فرآیند تفریق باشد. غنی‌شدگی عناصر Pb, La, K, U, Th و تهی‌شدگی عناصر Sr, Ti, Nb را می‌توان به آرایش پوسته‌ای نسبت داد. دگرسانی‌های هیپوژن در نیاز شامل انواع پتاسیک، فیلیک، پروپیلیتیک و آرژیلیک حدواسط می‌باشند. کانی‌سازی در طی حداقل سه مرحله کانی‌زایی پیشین، میانی و پسین رخ داده است. براساس مینرالوژی و توالی پاراژنتیکی حداقل پنج نوع رگچه در کانسار نیاز قابل تشخیص می‌باشند. رگچه‌های گروه A حاوی کوارتز+پیریت+کالکوپیریت+مگنتیت، رگچه‌های گروه B نیز در زون‌های دگرسانی پتاسیک و فیلیک حضور داشته، رگچه‌های گروه C، عمدتاً در مرحله کانه‌زایی میانی تشکیل شده، رگچه‌های گروه D اکثراً در زون دگرسانی فیلیک مشاهده می‌شوند که در مراحل میانی و پایانی فعالیت‌های گرمایی تشکیل شده و رگچه‌های گروه E تقریباً فاقد کانی‌های سولفیدی بوده و عمدتاً دارای کانی‌های روشن (کوارتز و/یا کلسیت) $\pm$ تورمالین هستند و اکثراً در زون دگرسانی پروپیلیتیک حضور دارند. چهار نوع میانبار سیال شامل تک فاز بخار، دو فاز غنی از مایع، دو فاز غنی از بخار و چند فاز حاوی فازهای جامد در رگچه‌های کوارتزی کانسار نیاز وجود دارند. بررسی دماهای همگن شدن در زون‌های دگرسانی نشان می‌دهد که بیشترین فراوانی دماهای همگن شدن در زون پتاسیک در بازه ۲۸۰-۳۶۰ °C، در زون فیلیک در دو بازه ۲۸۰-۳۰۰ °C و ۳۲۰-۳۵۵ °C و در زون پروپیلیتیک در بازه ۱۷۰-۱۹۰ °C قرار دارند.

نتیجه‌گیری: پترولوژی و پتروژنز واحدهای آذرین میزبان، کانی‌شناسی، دگرسانی گرمایی در محدوده نیاز موید کانی‌سازی نوع مس پورفیری در این محدوده می‌باشد. کانی‌سازی سولفیدی اصلی شامل پیریت، مولیبدنیت، کالکوپیریت، اسفالریت و گالن به صورت رگه/رگچه‌ای می‌باشد. نتایج ریزدماسنجی سیالات درگیر نشانگر محدوده دمای همگن ۱۷۰-۳۶۰ درجه سانتیگراد و محدوده شوری ۶۰-۰/۲ درصد وزنی معادل نمک طعام می‌باشد. جوشش و سرد شدن ساده سیالات کانه‌ساز، فرآیندهای اصلی در نهشت کانه‌های کانسنگی بوده‌اند.

واژگان کلیدی: دگرسانی، مس پورفیری، مشکین شهر، میانبار سیال، نیاز.

استناد: محمدیان، ه.، کلاگری، ع.ا.، سیمونز، و. و سیاه چشم، ک. ۱۴۰۳. بررسی‌های سطحی و زیرسطحی بر روی زمین‌شناسی

و ویژگی‌های سیال کانه‌ساز در اندیس مس، پژوهشهای دانش زمین: ۱۵(۱)، (۴۹-۶۶)، DOI: 10.48308/esrj.2021.100925

E-mail: H.mohmmadian@tabrizu.ac.ir

* نویسنده مسئول:



Copyright: © 2023 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

مقدمه

محدوده مورد مطالعه در ۲۵ کیلومتری غرب مشگین شهر در زون زمین‌شناسی البرز غربی-آذربایجان و زون متالوژنی قره‌داغ قرار دارد. کمر بند متالوژنی قره‌داغ از نظر معدنی اهمیت فراوان دارد. محدوده نیاز نیز بخشی از کانسارهای امیدبخش در این منطقه است که با توجه به یافته‌های حفاری اخیر انتظار می‌رود جزء معادن کوچک مولیبدن - مس معرفی گردد. در این محدوده تاکنون در طی دو مرحله ۹ گمانه اکتشافی قدیمی توسط شرکت ملی مس ایران و ۳۰ گمانه جدید توسط شرکت گسترش و نوسازی معادن خاورمیانه حفر گردیده‌اند. در این پژوهش با توجه به یافته‌های حفاری اخیر، به ویژگی‌های زمین‌شناسی، دگرسانی، کانه‌زایی و شرایط فیزیک و شیمیایی سیال کانه‌ساز این کانسار پرداخته خواهد شد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در دو بخش صحرایی و آزمایشگاهی انجام گرفته است. عملیات صحرایی شامل تهیه نقشه زمین‌شناسی، مطالعه و لاگ مغزه‌های حفاری و نمونه‌برداری از واحدهای سنگی و زون‌های مینرالیزه و دگرسان می‌باشد. کارهای آزمایشگاهی شامل مطالعه میکروسکوپی ۱۰۰ مقطع نازک و ۵۰ مقطع نازک-صیقلی از مغزه‌های حفاری، تجزیه ۲۳ نمونه به روش XRF و ۱۸ نمونه به روش ICP-OES در آزمایشگاه زرازمای زنجان می‌باشند. مطالعات ریز داماسنجی میانبار سیال بر روی ۸ نمونه در مرکز تحقیقات

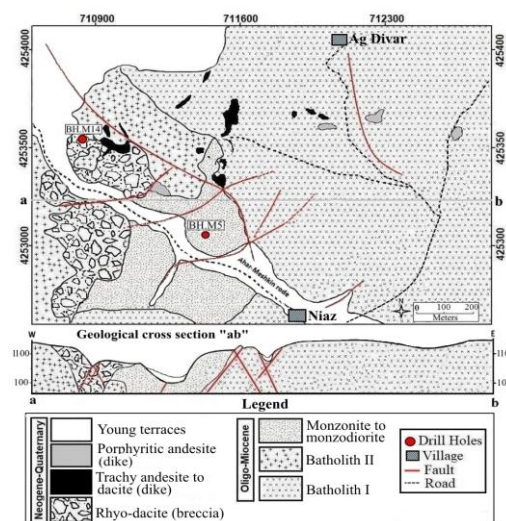
فرآوری مواد معدنی ایران صورت گرفته است. اندازه‌گیری پارامترهای دمایی به کمک استیج Linkam مدل THMS600 که بر روی میکروسکوپ ZEISS نصب گردیده، صورت گرفته است. دامنه اندازه‌گیری حرارتی این دستگاه ۱۹۶- تا ۶۰۰+ درجه سانتیگراد می‌باشد. کالیبراسیون استیج در مرحله گرمایش با دقت ± 0.6 درجه سانتیگراد بوده که با نیترا ت سزیم با نقطه ذوب ۴۱۴ درجه صورت پذیرفته و در مرحله انجماد با دقت ± 0.2 درجه است که با استفاده از ماده استاندارد (n-Hexane) با نقطه ذوب ۹۴/۳- درجه سانتیگراد انجام گرفته است.

زمین‌شناسی

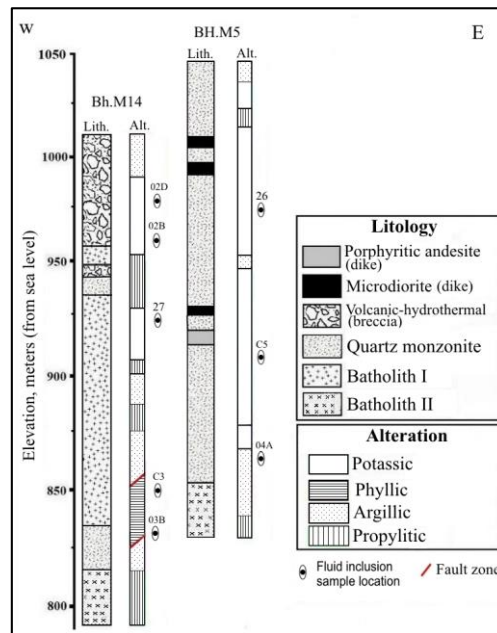
واحدهای سنگی کانسار نیاز عمدتاً متشکل از سنگ‌های آذرین نفوذی و ساب و لکانیک و به مقدار کمتر واحدهای خروجی می‌باشند (Mohammadian, 2013) که می‌توان آنها را در پنج گروه، (۱) باتولیت‌های I و II (به ترتیب باتولیت خاناباز و خانکندی)، (۲) واحد ساب و لکانیک کوارتز مونزونیت/کوارتز مونزونودیوریت، (۳) واحد برشی، (۴) دایک‌ها (آندزیتی، آپلیتی، میکرودیوریتی) و (۵) واحدهای کواترنری تقسیم‌بندی کرد (شکل ۱).

بحث و نتایج

دایک‌های آندزیت پورفیری و آپلیتی عمدتاً در سطح و دایک‌های میکرودیوریتی با ضخامت کم در عمق برخی گمانه‌ها مشاهده شده‌اند (شکل ۲).



شکل ۱: نقشه زمین‌شناسی محدوده مورد مطالعه با نمایش واحدهای سنگی به تفکیک سن و نمایش محل دو گمانه حفاری BH.M5 و BH.M14.



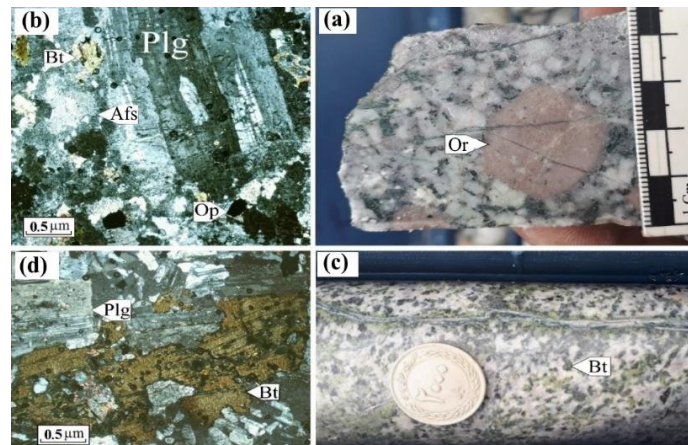
شکل ۲: ستون چینه‌ای از چاه‌های حفاری شماره BH.M5 و BH.M14. در منطقه نیاز که روی آن واحدهای سنگی، دگرسانی، زون‌های اکسیدی و سولفیدی و عمق نمونه‌های مربوط به میانبراهای سیال نمایش داده شده‌اند.

اکسیدهای آهن) در مقاطع نازک این سنگ‌ها به شکل ثانویه مشاهده می‌شوند (شکل ۳b).

گرانودیوریت خانکندی (باتولیت II): این توده نفوذی با ابعاد حداقل ۲۰×۳۰ کیلومتر مربع دارای مرز مشترک با گرانودیوریت خانباز می‌باشد و بنظر می‌رسد با توجه به زونلیت‌های موجود، نسبتاً قدیمی‌تر از گرانودیوریت خانباز باشد. نمونه دستی به رنگ خاکستری تیره بوده و به لحاظ وجود بیوتیت‌های فراوان مشخص است (شکل ۴c). ترکیب این واحد بیشتر گرانودیوریتی است اما گاهی تا مونزونیت و مونزوگرانیت نیز متغیر است. در مطالعات میکروسکوپی این سنگ تمام بلورین با بافت دانه‌ای و دارای بلورهای شکل‌دار پلاژیوکلاز، بیوتیت، آلکالی فلدسپار، بلورهای بی-شکل کوارتز و آمفیبول بعنوان کانی اصلی و کانی‌های اسفن، آپاتیت، زیرکن و کانی‌های کدر (بیشتر مگنتیت) بعنوان کانیهای فرعی و متفرقه می‌باشد. درشت بلورهای پلاژیوکلاز (۵۰-۶۵٪) و آلکالی‌فلدسپار (۲۵-۱۵٪) توسط درشت بلورهای کوارتز (۱۵-۲۵٪)، بیوتیت (۱۰-۲۰٪) و آمفیبول (تا ۵٪) همراهی می‌شوند (شکل ۴d). آمفیبول‌ها (هورنبلند) و میکاها (بیوتیت) غنی از منیزیم بوده و بلورهای پلاژیوکلاز بیشتر منطقه‌بندی ترکیبی دارند و ترکیب آنها در محدوده الیگوکلاز تا آلبیت قرار می‌گیرد (Aghazadeh et al, 2011).

واحد کوارتز مونزونیت/کوارتز مونزودیوریت، واحد برشی ریوداسیتی و دایک‌های میکرودیوریتی از نظر کانه‌زایی مولیبدن و مس اهمیت دارند. انواع واحدهای سنگی منطقه نیاز به شرح زیر می‌باشند:

گرانودیوریت خانباز (باتولیت I): این واحد به سن الیگوسن بوده (مهدوی، ۱۳۶۷) و با ابعاد حداقل ۵×۱۵ کیلومتر مربع بزرگترین توده نفوذی منطقه مورد مطالعه می‌باشد. در نمونه دستی درشت بلورهای ارتوز و پلاژیوکلاز خود شکل قابل مشاهده می‌باشند (شکل ۳a). در مطالعات میکروسکوپی این توده دارای بافت تمام بلورین بوده و از بلورهای فلدسپار (پلاژیوکلاز و آلکالی فلدسپار)، بلورهای بی‌شکل کوارتز و کانی‌های فرومنیزین (بیوتیت و آمفیبول) تشکیل شده است. پلاژیوکلاز (۵۰-۶۵٪) به صورت خود-شکل تا نیمه شکل‌دار با ماکل و ساخت زونه بوده و بعضاً به کانی رسی، سریسیت و کمی کربنات دگرسان شده است. بلورهای نیمه شکل‌دار آلکالی‌فلدسپار (۲۵-۳۵٪) دارای ساخت زونه یا ماکل‌های دوتایی هستند که در بیشتر موارد رسی شده‌اند. کوارتز (۱۵-۳۰٪) بیشتر به صورت متوسط بلور بی‌شکل دیده می‌شود. بیوتیت (<۱۰٪) و به مقدار کمتر هورنبلند حضور دارند که عمدتاً متحمل دگرسانی شده‌اند. تجمع بی‌شکلی از کانی‌های کربناتی، کلریت، موسکویت (سریسیت)، آپاتیت و کانی‌های کدر (مانند

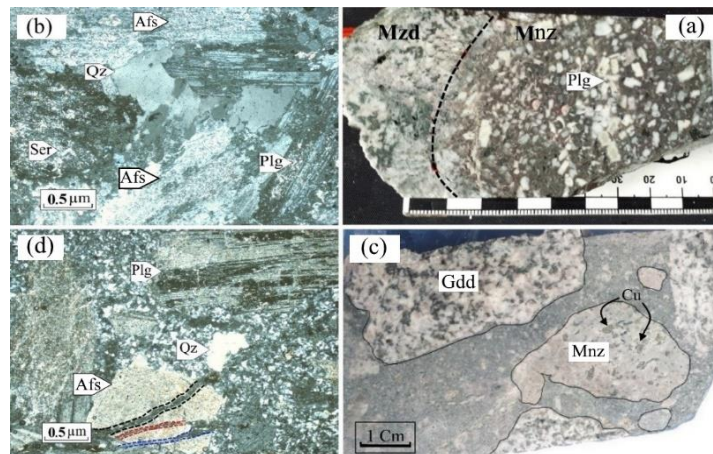


شکل ۳: تصاویر نمونه دستی و میکروسکوپی باتولیت‌های I و II. (a) واحد گرانودیوریت خانباز با درشت بلورهای ارتوز در عمق ۱۲۰ متری. (b) درشت بلورهای پلاژیوکلاز و ارتوز در گرانودیوریت خانباز. (c) بیوتیت‌های کلریتی شده و رگچه کلسیتی در گرانودیوریت خانکندی در عمق ۱۷۰ متری. (d) درشت بلورهای بیوتیت و پتاسیم فلدسپار در واحد خانکندی. (علائم اختصاری تمامی تصاویر از ویتنی و ایوانز (Whitney and Evans, 2010) می‌باشد).

شامل سولفیدها (پیریت، کالکوپیریت و مولیدنیت) و اکسیدهای مس (تا ۲٪) و به مقدار کمتر اکسیدهای آهن و تیتانیوم (تا ۱٪) می‌باشند. در واحد سنگی کوارتزومونزونیت پورفیری درشت بلورهای پلاژیوکلاز (۲۵-۳۵٪) و آلکالی-فلدسپار (۲۵-۳۵٪)، پولک‌های بیوتیت (اغلب ثانویه) (-۱۰٪) در زمینه ریز بلوری از کوارتز (۲۰-۱۰٪) و سیلیس نهان بلور، بلورهای ریز پلاژیوکلاز و آلکالی فلدسپار قرار دارند (شکل ۴b).

واحد ولکانیکی/برشی ریوداسیتی: این واحد برشی دارای گسترش محدود بوده و از نوع پرش‌های ماگمایی-گرمابی (Sillitoe, 1985) می‌باشد. این واحد مابین کوارتزومونزونیت نیاز و باتولیت II قرار داشته و حاوی قطعات مختلف گرانودیوریت و کوارتزومونزونیت و غیره می‌باشد (شکل ۴c). خمیره این واحد ترکیب ریوداسیتی/داسیتی دارد. در زیر میکروسکوپ حاوی ریز بلورهای شکل‌دار تا نیمه شکل‌دار پلاژیوکلاز و کوارتز همراه با بیوتیت در زمینه بسیار ریز بلور می‌باشد. بلورهای پلاژیوکلاز (۴۰-۵۵٪) و آلکالی فلدسپار (۱۵-۲۵٪) خود شکل هم به صورت درشت بلور و هم ریز بلور و کوارتزهای بی‌شکل در متن سنگ مشاهده می‌شوند. زمینه سنگ دارای خردشدگی و تبلور مجدد بوده و از کوارتز (۲۰-۳۰٪)، بیوتیت (تا ۵٪)، پلاژیوکلاز و آلکالی فلدسپار تشکیل شده است. کانی‌های کدر (۱-۵٪) عمدتاً شامل کانه‌های مس (کالکوپیریت و مالاکیت) و اکسیدهای آهن حاصل از تخریب بیوتیت‌ها می‌باشند (شکل ۴d).

واحد کوارتزومونزونیت نیاز: این توده ساب ولکانیک به حاشیه باتولیت‌های I و II نفوذ کرده و در نمونه دستی به رنگ خاکستری روشن تا مایل به سبز می‌باشد. حسن پور و همکاران (۲۰۱۵) سن این واحد را با استفاده از روش آرگون-آرگون $22/14 \pm 0/13$ Ma سال به دست آورده‌اند. بررسی نمونه‌های مغزه‌های حفاری نشان می‌دهد که این واحد از نظر بافتی متشکل از دو توده مجزای پورفیری و دانه‌ای با کنتاکت تدریجی می‌باشد که فرم پورفیری آن کوارتزومونزونیت و فرم دانه‌ای آن کوارتزومونزودیوریت تا گرانودیوریت معرفی می‌شوند (شکل ۴a). برخی محققین (موید، ۱۳۹۹) معتقداند که این توده جزء قدیمی‌ترین واحدهای منطقه است و واحد پورفیری قدیمی‌تر از واحد گرانولار می‌باشد. در مطالعات میکروسکوپی واحد دانه‌ای (کوارتزومونزودیوریت) تمام بلورین، دانه متوسط تا درشت بوده که دارای بلورهای نیمه شکل‌دار فلدسپار پتاسیم، پلاژیوکلاز و به مقدار کمتر بیوتیت و کوارتز می‌باشد. آثار دگرسانی و خردشدگی و تبلور مجدد به ویژه در کوارتزها و فلدسپارها مشخص می‌باشد. درشت بلورهای آلکالی-فلدسپار (۴۰-۴۵٪) و پلاژیوکلازهای نیمه شکل دار (۴۵-۳۵٪) کانی اصلی و فراوان سنگ می‌باشند. بلورهای اولیه کوارتز (۱۰-۲۰٪) در بیشتر موارد به مجموعه موزائیکی تبدیل شده‌اند و خاموشی موجی نشان می‌دهند. کانی‌های مافیک (تا ۵٪) عمدتاً متوسط بلور شامل بیوتیت ها و هورنبلندهای کلریتی و/یا کلسیتی شده می‌باشند. کانی‌های کدر (براساس مطالعات مقاطع نازک-صیقلی)

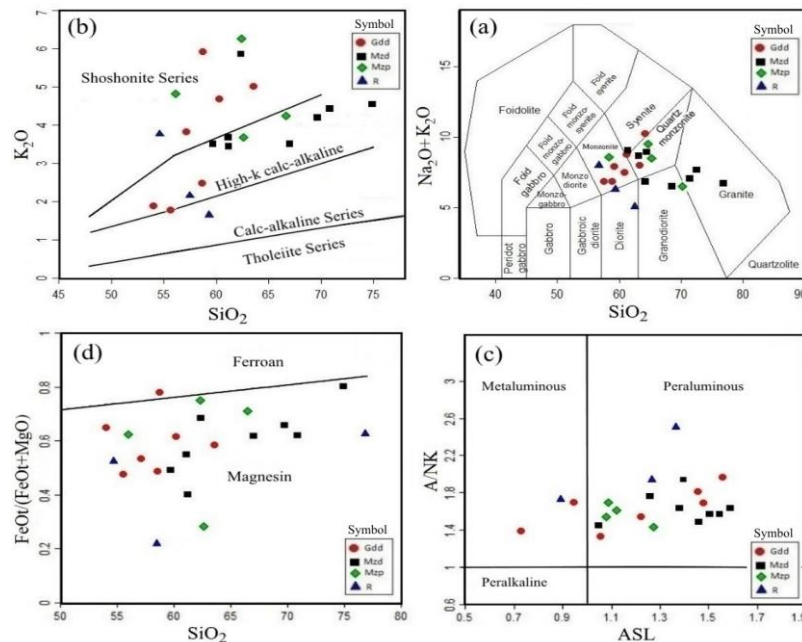


شکل ۴: تصاویر نمونه دستی و میکروسکوپی از واحد کوارتز مونزونیت و واحد برشی. (a) نمونه دستی از مغزه حفاری (عمق ۷۰ متری) که در آن مرز تدریجی واحدهای کوارتز مونزودیوریت (Mzd) و کوارتز مونزونیت پورفیری (Mnz) مشخص است. (b) درشت بلورهای فلدسپار سریسیتی شده در واحد کوارتز مونزودیوریت. (c) نمونه دستی از مغزه حفاری در عمق ۳۰ متری واحد ریوداسیتی حاوی قطعاتی از واحدهای قدیمی‌تر. (d) درشت بلورهای فلدسپار خرد شده در زمینه ریز بلور حاوی کوارتز در خمیره واحد برشی.

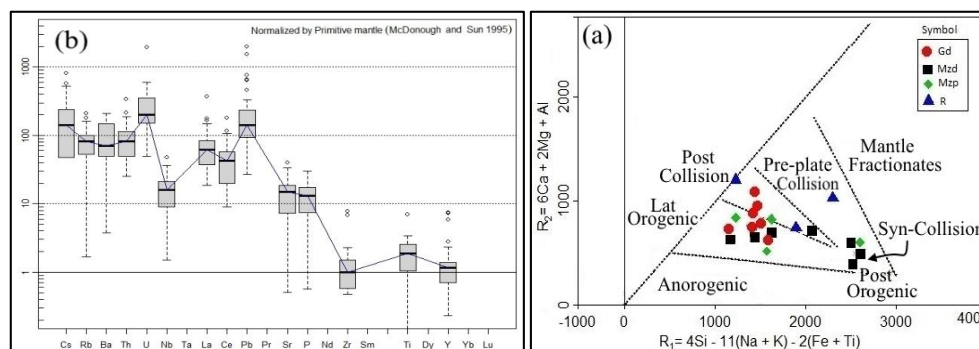
دایک‌های منطقه: در منطقه مورد مطالعه دایک‌های آندزیت-پورفیری، آپلیتی و میکرودیوریتی یا دیابازی با ضخامت‌های مختلف مشاهده می‌شوند (شکل ۲). دایک‌های آندزیت-پورفیری به عنوان فراوانترین دایک دارای درشت بلورهای پلاژیوکلاز (۶۰-۴۵٪) در زمینه ریز بلور شامل فلدسپارها (۱۰-۲۰٪)، کوارتز (۲۰-۵٪) و به مقدار کم و جزئی بیوتیت و به ندرت پیروکسن می‌باشند که بعد از کانه‌زایی نفوذ کرده‌اند. دایک‌های میکرودیوریتی با ضخامت حداکثر تا یک متر در عمق برخی گمانه‌ها مشاهده می‌شود (شکل ۲) و دارای کانه‌زایی فراوان (پیریت و کالکوپیریت) می‌باشند. مطالعات میکروسکوپی نشان می‌دهند که این دایک‌ها از پلاژیوکلاز (۶۰-۷۵٪) و آلکالی فلدسپارهای (۱۵-۵٪) ریز بلور و کانی‌های مافیک (بیوتیت و هورنبلند) (حداکثر ۵٪) و پلاژیوکلازهای درشت بلور (۵۰-۱۰٪) و پراکنده به شکل پورفیری تشکیل شده‌اند.

پتروژنز: از آنالیز شیمیایی واحدهای آذرین برای تعیین جنس سنگ‌ها، تعیین سری ماگمایی، مشخص کردن جایگاه تکتونیکی و غیره استفاده می‌شود. یافته‌های حاصل از تجزیه شیمیایی واحدهای سنگی نشان می‌دهد که ترکیب آنها در محدوده سنگ‌های حدواسط با جنس کوارتز مونزونیت/مونزونیت تا سنگ‌های اسیدی گرانیت/گرانودیوریت قرار می‌گیرد (شکل ۵a) و دارای ماهیت کالک‌آلکان با پتاسیم بالا تا شوشونیتی هستند (شکل ۵b). این واحدها به لحاظ درصد Al_2O_3 عمدتاً دارای

ماهیت پرآلومینوس بوده و جزء سنگ‌های سری مگنتیتی می‌باشند (شکل ۵c و d). پرآلومینوس بودن واحدهای آذرین می‌تواند تا حدودی متأثر از دگرسانی‌های سیستم پورفیری منطقه باشد. از نظر تکتونیکی، واحدهای آذرین منطقه در زون برخوردی (فرورانش) قرار می‌گیرند (شکل ۶a). در نمودار عنکبوتی واحد مونزونیت/مونزودیوریت نیاز افت و خیزهای واضح مشابه با ماگماهای مرتبط با فرورانش، مانند غنی‌شدگی برخی از عناصر با قدرت میدان بالا (HFSE) نسبت به عناصر لیتوفیل درشت یون (LILE) در همه نمونه‌ها دیده می‌شوند (Wilson, 1989) (شکل ۶b). کمبود عناصری نظیر Ti و Nb در این واحد سنگی کانه‌دار را می‌توان به فرآیندهایی نظیر: (۱) ماگماتیسیم مرتبط با فرآیند فرورانش (Kuster and Harms, 1998)، (۲) مشارکت پوسته قاره‌ای در فرآیندهای ماگمایی (Rollinson, 1993)، (۳) فقر این عناصر در منشأ و همچنین پایداری فازهای حاوی این عناصر در طی ذوب بخشی و یا جدایش آنها در طی فرآیند تفریق (Wu et al, 2003) نسبت داد. غنی‌شدگی عناصر Pb, La, K, U, Th و تهی‌شدگی عناصر Sr, Ti, Nb را می‌توان به آلیش پوسته‌ای نسبت داد (Taylor and McLennan, 1985). به-طور کلی الگوی تغییرات عناصر کمیاب در واحدهای آذرین منطقه مشابه می‌باشد (Mohammadian, 2013)، این امر می‌تواند نشان‌دهنده ارتباط ژنتیکی این واحدها با هم و منشأ مشترک آنها باشد (Chen et al, 2002).



شکل ۵: طبقه‌بندی سنگ‌های آذرین منطقه با استفاده از یافته‌های آنالیز شیمیایی (واحد نمودارها بر حسب درصد می‌باشد). (a) براساس نمودار (Middlemost, 1994)، این واحدها در محدوده سنگ‌های مونزونیتی / کوارتز مونزونیتی تا گرانیتی واقع می‌شوند. (b) ماگمای تشکیل دهنده کانسار نیاز عمدتاً کالک‌آلکالین با پتاسیم بالا تا شوشونیتی می‌باشد (Peccherillo and Taylor, 1976). (c, d) سنگ‌های منطقه به لحاظ درصد Al_2O_3 ، عمدتاً جز سنگ‌های پرآلمینوس بوده و متعلق به سنگ‌های سری مگنتیتی (Frost et al, 2001) می‌باشند. Gdd: باتولیت I، Mzd: کوارتز مونزودیوریت، Mzp: کوارتز مونزونیت پورفیری، R: واحد برشی ریوداسیتی).



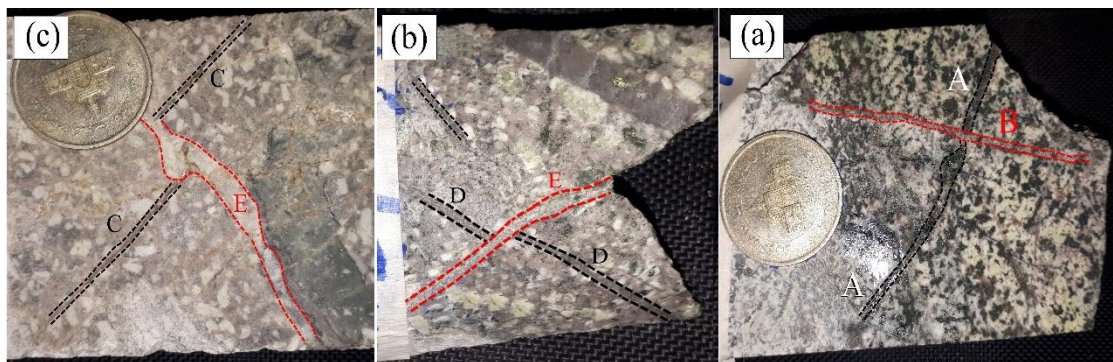
شکل ۶: موقعیت تکتونیکی و نمودار عنکبوتی عناصر کمیاب. (a) موقعیت تکتونیکی واحدهای آذرین منطقه نیاز (Betchelor et al, 1985)؛ واحدهای آذرین به ویژه کوارتز مونزودیوریت عمدتاً در جایگاه تکتونیکی اواخر کوهزایی و پس از برخورد تشکیل شده‌اند. (b) نمودار عنکبوتی کوارتز مونزونیت / کوارتز مونزودیوریت نیاز که نسبت به گوشته اولیه بهنجار شده است.

بیوتیت و ارتوز ثانویه به وفور تشکیل شده‌اند (شکل ۷a). (۲) رگچه‌های گروه B نیز در زون‌های دگرسانی پتاسیک و فلیک حضور داشته و رگچه‌های گروه اول را قطع کرده و بنظر می‌رسد در انتهای مرحله کانه‌زایی پیشین تشکیل شده‌اند و دارای کانی‌های کوارتز + کالکوپیریت + مگنتیت ± هماتیت می‌باشند (شکل ۷a). (۳) رگچه‌های گروه C، عمدتاً در مرحله کانه‌زایی میانی تشکیل شده و رگچه‌های گروه A و B را قطع نموده و حاوی کوارتز + مولیدنیت + کالکوپیریت ± پیریت بوده و بیشتر در زون دگرسانی

رده‌بندی رگچه‌ها: در کانسار نیاز سیستم داربستی عمدتاً در پهنه دگرسانی پتاسیک و رگچه‌ها در زون فلیک توسعه یافته‌اند. رگچه‌ها بر پایه کانی‌شناسی، روابط قطع شدگی توسط یکدیگر و رابطه زمانی به پنج گروه (A, B, C, D, E) تقسیم شده‌اند. (۱) رگچه‌های گروه A که از نظر زمانی در مرحله کانه‌زایی پیشین تشکیل شده‌اند، رنگ تیره و ضخامتی بین $20\mu m$ تا $3mm$ داشته و حاوی کوارتز + پیریت + کالکوپیریت + مگنتیت بوده و عمدتاً در زون پتاسیک و گاهاً فلیک حضور دارند. درحاشیه این رگچه‌ها

حدود کمتر از یک میلی‌متر تا چند سانتیمتر داشته و تقریباً فاقد کانی‌های کدر (سولفیدی و اکسیدی) بوده و عمدتاً دارای کانی‌های روشن (کوارتز و/یا کلسیت)±تورمالین هستند. این گروه از رگچه‌ها از نظر زمانی تأخیری بوده و در مراحل انتهایی فعالیت‌های گرمایی تشکیل شده و اکثراً در زون دگرسانی پروپیلیتیک دگرسانی حضور دارند، اما کمابیش در بقیه زون‌های دگرسانی نیز مشاهده می‌شوند (شکل ۷b و c).

سیلیسی/ فیلیک دیده می‌شوند. ضخامت این گروه از رگچه‌ها کم بوده (حداکثر ۱mm) و فراوانی مولیدنیت در آنها از کالکوپیریت بیشتر است. ۴) رگچه‌های گروه D از فراوانی کمتری برخوردار بوده و اکثراً در زون دگرسانی فیلیک مشاهده می‌شوند. این رگچه‌ها از نظر زمانی در مراحل میانی و پایانی فعالیت‌های گرمایی تشکیل شده و رگچه‌های گروه‌های پیشین را قطع نموده و حاوی کانی‌های کوارتز + پیریت + کالکوپیریت + گالن ± اسفالریت ± هماتیت می‌باشند. ۵) رگچه‌های گروه E ضخامت‌هایی در



شکل ۷: تصاویر نمونه دستی رگچه‌های متعلق به نسل‌های مختلف (A, B, C, D, E). (a) رگچه‌های نوع B رگچه‌های A را قطع کرده‌اند اما جابه‌جایی خیلی کمی ایجاد کرده‌اند. این رگچه‌ها رنگ نسبتاً تیره‌ای دارند. (b, c) رگچه‌های سری آخر با رنگ روشن‌تر، رگچه‌های نوع D و C را قطع کرده‌اند. جابه‌جایی در این نوع رگچه‌ها زیاد است.

دگرسانی فیلیک: این دگرسانی عمدتاً در واحد سنگی کوارتزومونونیت/ کوارتزومونودیوریت توسعه یافته و دارای گسترش نسبتاً محدودی در گمانه‌ها می‌باشد. در نمونه‌های دستی و رخنمون‌های سطحی با رنگ خاکستری روشن شناخته می‌شود. مطالعات میکروسکوپی نشان می‌دهد که آلکالی‌فلدسپارها و پلاژیوکلازها عمدتاً به سریست و کمی کانی‌های رسی دگرسان شده‌اند. کوارتز ثانویه به شکل بلورهای بی‌شکل و رگچه‌ای و یا در اطراف فلدسپارها همراه با بلورهای خود شکل پیریت تشکیل شده و زمینه سنگ را سیلیسی کرده است (شکل ۸c). در توده کوارتزومونونیتی، سریستی شدن به وفور رخ داده و همراه با این دگرسانی کانه‌زایی سولفیدی (پیریت، کالکوپیریت، مولیدنیت ± گالن) در ریز شکستگی‌ها یا حفرات سیلیسی تشکیل شده است (شکل ۸e). بلورهای ریز و فراوان روتیل غالباً به صورت سوزنی و به رنگ قهوه‌ای مایل به زرد در درون بلورهای بیوتیت و هورنبلند حضور دارند (شکل ۸f).

دگرسانی پتاسیک: این دگرسانی عمدتاً در واحد پرشی ریوداسیتی و کوارتزومونودیوریت رخ داده و هم در سطح و

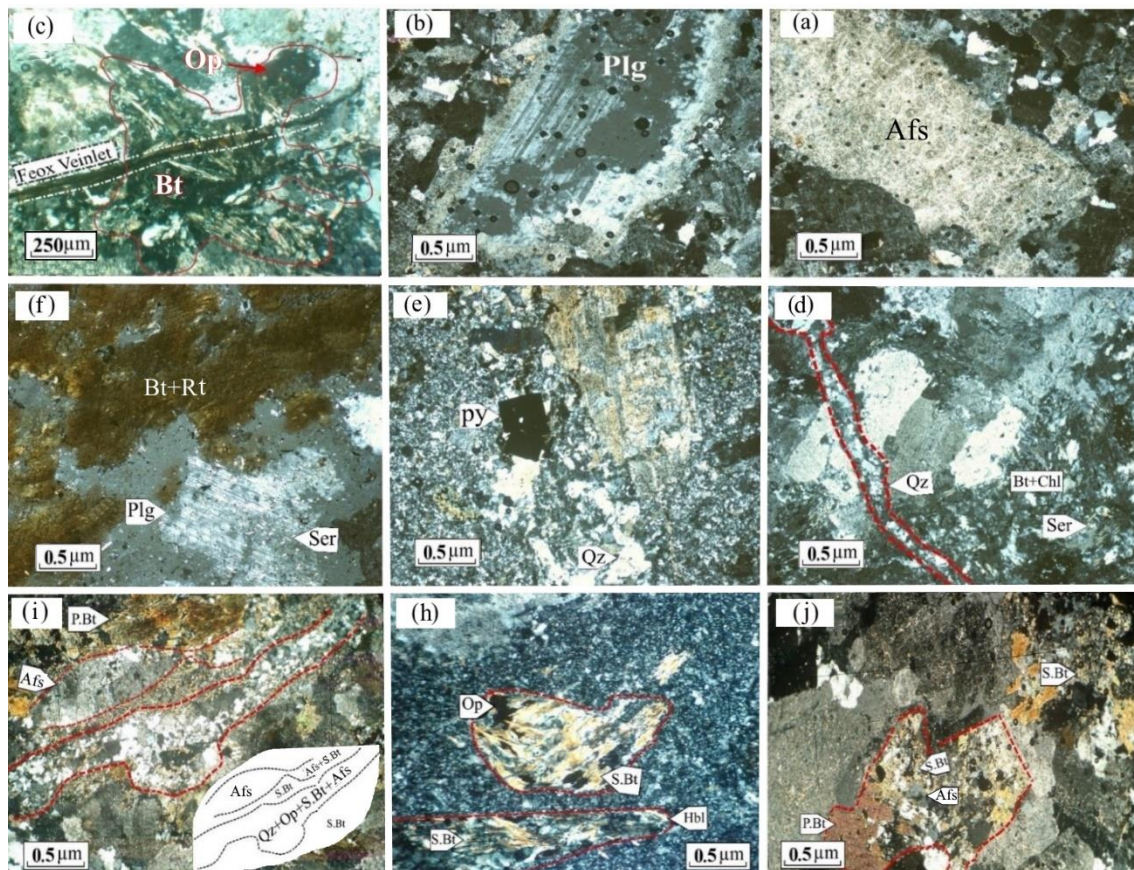
دگرسانی‌های گرمایی: دگرسانی‌های گرمایی درون‌زاد در منطقه مورد مطالعه فراگیر بوده و شامل انواع آرژیلیک، سیلیسی، پروپیلیتیک، پتاسیک و فیلیک به شرح زیر می‌باشند:

دگرسانی آرژیلیک: این دگرسانی به‌طور گسترده همه واحدهای سنگی را تحت‌تأثیر قرار داده و از نوع حد واسط است. نتایج تجزیه XRD (Mohammadian, 2013) نشانگر حضور کانی‌هایی همچون کائولینیت، مونتموریلونیت، کلسیت و جاروسیت در این زون دگرسانی است (شکل ۸a و b).

دگرسانی پروپیلیتیک: این دگرسانی به شکل وسیع به ویژه در باتولیت‌خان‌باز رخ داده است. در مطالعات میکروسکوپی، مجموعه کانی‌هایی این زون شامل کلسیت، اپیدوت، کلریت و اکسیدهای آهن می‌باشد (شکل ۸c). آلکالی‌فلدسپارها عمدتاً رسی و کلسیتی شده و پلاژیوکلازها اپیدوتی و کلسیتی شده‌اند. در این زون دگرسانی درشت بلورهای پلاژیوکلاز موجود در دایک‌های میکرودیوریتی به شکل کامل اپیدوتی شده‌اند.

و ارتوزهای ثانویه در حاشیه رگچه‌های سیلیسی مشخص می‌شود (شکل ۸i و j). در واحد پرشی ریوداسیتی، درشت بلورهای هورنبلند توسط بیوتیت ثانویه جانشین شده‌اند (شکل ۸h).

هم در عمق گمانه‌ها مشاهده می‌شود. نمونه‌های دستی این زون به رنگ خاکستری تیره بوده (شکل ۷a) و بعضاً حاوی درشت بلورهای مگنتیت می‌باشند. دگرسانی پتاسیک در نیاز با حضور پولک‌های ریز بیوتیت‌های ثانویه در حاشیه و درون کانی‌های فرومنیزین (بیوتیت‌های اولیه و هورنبلند)



شکل ۸: تصاویر میکروسکوپی از نمونه‌های مربوط به زون‌های دگرسانی منطقه. (a) رسی شدن انتخابی یک فلدسپار در زون آرژیلیک در واحد کوارتزومونزونیت. (b) آرژیلی شدن یک پلاژیوکلاز از حاشیه. (c) کربناتی شدن انتخابی پلاژیوکلاز در زون پروپیلیتیک. (d) حضور رگچه سیلیسی در متن سریستی سنگ در زون فیلیک. (e) حضور پیریت‌های خودشکل و کوارتز ثانویه در زون فیلیک. (f) تشکیل سوزن‌های روتیل درون بیوتیت‌ها و سریستی شدن فلدسپارها. (g) تشکیل پولک‌های بیوتیت ثانویه (S.Bt) در اطراف صفحات بیوتیت‌های ماگمایی زون پتاسیک منطقه. (h) تبدیل هورنبلند به بیوتیت ثانویه. (i) یک رگچه سیلیسی در زون پتاسیک با پولک‌های بیوتیت ثانویه و آلکالی فلدسپار ثانویه در اطراف (در گوشه پایین تصویر وضعیت رگچه همراه با نام کانی‌ها رسم شده است). (علائم اختصاری همه تصاویر از ویتنی و ایوانز (Whitney and Evans, 2010) می‌باشد).

کانه‌زایی

کانه‌زایی در دو واحد کوارتزومونزونیتی/مونودیوریتی و واحد پرشی ریوداسیتی به حالت‌های پراکنده، رگچه‌ای، داربستی و پرشی در طی دو فرآیند درونزاد و برونزاد رخ داده است. کانه‌زایی درونزاد با حضور کانی‌هایی مثل پیریت، کالکوپیریت، مولیبدنیت، بورنیت، گالن، اسفالریت، مگنتیت و هماتیت (اولیه) مشخص می‌شود. کانه‌های تشکیل شده

در طی فرآیندهای برونزاد شامل کالکوسیت، کوولیت در زون احیایی و کانی‌هایی مثل مالاکیت، آزوریت، تنوریت، نئوتوسیت و اکسیدهای آهن (هماتیت، لیمونیت و گوتیت) در زون اکسیدان می‌باشند. کانه‌زایی درونزاد: براساس مینرالوژی و بافت کانیهای کدر (سولفیدی و اکسیدی) و روشن، دگرسانی مرتبط با کانه-زایی و انواع مختلف رگچه‌های موجود، حداقل سه مرحله

مولیبدنیت: مولیبدنیت (۲-۱٪) به صورت تیغه‌ای در اندازه‌های ریز تا متوسط بلور اکثراً همراه با/یا داخل کالکوپیریت و بعضاً به صورت منفرد دیده می‌شود (شکل ۹a و c). کریستال‌های کشیده این کانی به صورت لکه‌ای و یا ریز رگچه‌ای ($20\mu\text{m}$ الی 3mm) همراه با کالکوپیریت دیده می‌شوند (شکل ۹d). این کانی همچنین در حدفاصل بین کانی‌های باطله نیز مشاهده می‌شود.

اسفالریت و گالن: این دو کانی از فراوانی کمی برخوردار بوده ولی بعضاً در برخی نمونه‌ها فراوانی اسفالریت ممکن است تا حدود ۲٪ نیز برسد. بلورهای اسفالریت در اندازه‌های بین $200\mu\text{m}$ الی 1mm به صورت پراکنده در فضای بین بلورهای کوارتز مشاهده می‌شوند و بعضاً به‌طور بخشی توسط گالن جانشین شده‌اند (۹e). همچنین اذخال‌های ریز (کمتر از $30\mu\text{m}$) کالکوپیریت در داخل بعضی از بلورهای اسفالریت مشاهده می‌شوند (۹e). بلورهای گالن با ابعاد ۱۰ الی $500\mu\text{m}$ به فرم‌های منفرد، هم‌رشدی با اسفالریت و یا لکه‌های ریز درون و حاشیه کالکوپیریت دیده می‌شوند. گاهی نیز گالن جانشین قسمت‌هایی از کالکوپیریت شده است (شکل ۹e و f).

بورنیت: این کانی فراوانی نسبتاً کمی (۱-۲٪) داشته ولی ندرتاً ممکن است فراوانی آن تا ۱۰٪ نیز برسد. این کانی جانشین کالکوپیریت شده و بعضاً بقایای کالکوپیریت به صورت جزیره‌ای در داخل آن دیده می‌شوند. بورنیت و کالکوپیریت در زون‌های احیایی برونزاد توسط کوولیت به‌طور بخشی جانشین شده‌اند (شکل ۹g).

کانه‌زایی برونزاد: زون‌های دگرسانی و کانه‌زایی درونزاد پس از ظاهر شدن در سطح و نزدیک سطح (حداکثر تا عمق ۳۰ متری) زمین تحت‌تاثیر فرآیندهای برونزاد قرار گرفته که منجر به تشکیل کانی‌های رسی (کائولینیت و مونتموریلونیت)، کربنات مس (مالاکیت و آزوریت) و اکسید/هیدروکسید آهن (لیمونیت، گوتیت و هماتیت) گردیده است. گسترش زون غنی شده (احیایی) برونزاد در گمانه‌های کانسار نیاز محدود و غیر پیوسته می‌باشد. مینرالوگرافی انواع کانه‌های زون احیایی و اکسیدی برونزاد شرح زیر می‌باشد:

کوولیت: این کانی (۱٪) به‌طور حاشیه‌ای جانشین کانی‌های سولفیدی مس‌دار درونزاد مثل کالکوپیریت و بورنیت

کانی‌زایی درونزاد (۱) پیشین، (۲) میانی و (۳) پسین بطور پیوسته قابل تشخیص می‌باشند. در مرحله پیشین رگچه‌های سیلیسی نهان بلور خاکستری تیره رنگ به‌همراه کانیهای ریز تا متوسط بلور سولفیدی (پیریت و کالکوپیریت)، اکسیدی (مگنتیت و هماتیت) و سیلیکاتی (بیوتیت و سریسیت) تشکیل شده‌اند. بخش عمده کانی‌سازی سولفیدی (پیریت، مولیبدنیت، کالکوپیریت، اسفالریت و گالن) به‌همراه کوارتزهای خاکستری، سریسیت و آلکالی‌فلدسپار در مرحله میانی تشکیل شده‌اند. در مرحله پسین عمدتاً کانی‌های روشن (کائولینیت، کلسیت، کلریت و اپیدوت) و به‌مقدار کمتر پیریت در داخل رگه-رگچه‌های کوارتزی شفاف توسعه یافته‌اند. مینرالوگرافی انواع کانه‌های زون کان‌زایی درونزاد بشرح زیر می‌باشد:

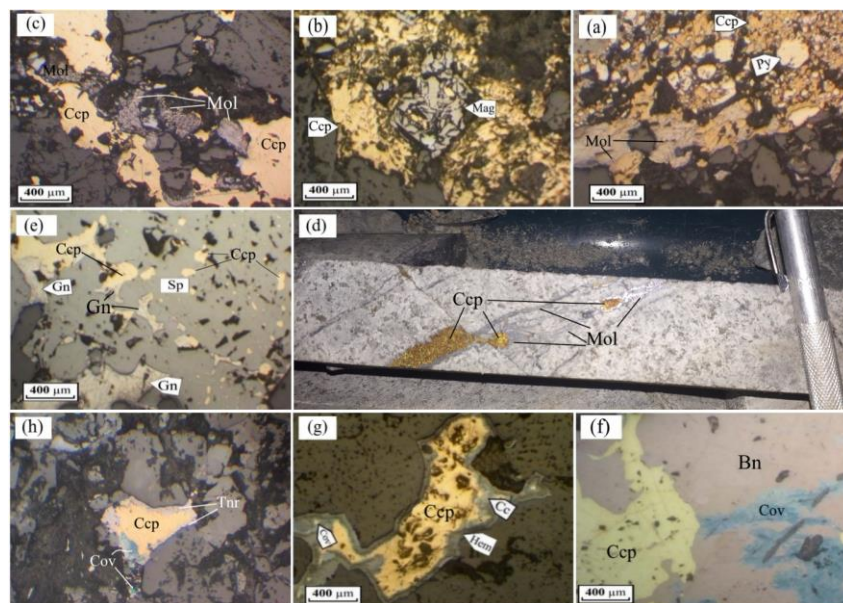
پیریت: پیریت با فراوانی متغیر (۲-۸٪) و ابعاد ۵ الی ۸۰۰ میکرون به صورت بلورهای خود شکل تا نیمه خودشکل می‌باشد. پیریت به شکل پیوسته در اکثر زون‌های دگرسانی و کان‌زایی تشکیل شده و به شکل پراکنده، برشی و رگچه‌ای مشاهده می‌شود. بعضاً بلورهای این کانی توسط کانی‌های سولفیدی دیگر مثل کالکوپیریت، گالن و یا اسفالریت به‌طور حاشیه‌ای در برگرفته شده است. این کانی در زون اکسیدی برونزاد به اکسیدهای آهن به ویژه هماتیت و گوتیت تجزیه شده است (شکل ۹a).

کالکوپیریت: کالکوپیریت (۱-۱۵٪) مهم‌ترین کان‌ه مس در کانسار نیاز بوده و عمدتاً به صورت بی‌شکل، برشی، رگچه‌ای و یا درفضاهای بین دانه‌ای کانی‌های باطله و در اندازه‌های بین $5\mu\text{m}$ تا 1cm دیده می‌شود. این کانی بعضاً جانشین پیریت شده است (شکل ۹d). در برخی نمونه‌ها پیریت و هماتیت اولیه را در برگرفته است (شکل ۹f) و خود توسط مولیبدنیت احاطه شده است (شکل ۹d). کالکوپیریت در زون‌های احیایی سوپرژن توسط سولفیدهایی مثل کوولیت و کالکوسیت ثانویه به‌طور بخشی جانشین شده است (شکل ۹b و e).

مگنتیت: این کانی (۱٪) به صورت بلورهای خودشکل با ابعاد ۱۰۰-۳۰۰ میکرون و اکثراً همراه با کالکوپیریت یا به صورت منفرد و پراکنده در داخل کانی‌های باطله در زون پتاسیک دیده می‌شود (شکل ۹b). مگنتیت بعضاً توسط کالکوپیریت و پیریت احاطه شده و خود تا حدودی مارتیتی شده است.

تنوریت: تنوریت با فراوانی بسیار کم در برخی مقاطع صیقلی متعلق به زون اکسیدان برونزاد مشاهده شده که به صورت حاشیه‌ای جانشین کالکوپیریت شده است (شکل ۹h). توالی پاراژنتیکی مجموعه کانی‌های تیره (سولفیدی و اکسیدی) و بعضی از کانی‌های روشن زون‌های دگرسانی و کانه‌زایی درونزاد و برونزاد در شکل ۱۰ آورده شده است.

شده است. تشکیل این کانی در امتداد ریز شکستگی‌ها بیشتر می‌باشد (شکل ۹g و h). کالکوسیت: کالکوسیت (<۱٪) همانند کوولیت در زون احیایی برونزاد عمدتاً جانشین کالکوپیریت شده و به شکل حاشیه‌ای دور این کانی را احاطه می‌کند. این جانشینی در بخش‌های برشی شده برجسته‌تر می‌باشد (شکل ۹g).



شکل ۹: تصاویر میکروسکوپی از کانه‌های کدر در زون درونزاد و برونزاد. (a) کانه‌زایی برشی در عمق ۹۰ متری گمانه. کالکوپیریت، پیریت را در بر گرفته است. (b) کانه‌زایی مگنتیت قبل از کالکوپیریت. (c) هم‌رشدی مولیبدنیت به همراه کالکوپیریت. (d) کانه‌زایی رگچه‌ای مولیبدنیت که کالکوپیریت را در بر گرفته است. (e) هم‌رشدی اسفالریت، گالن و کالکوپیریت در عمق ۱۳۰ متری گمانه‌های حفاری (جانشینی کالکوپیریت توسط گالن در مرکز تصویر مشخص است). (f) جانشینی کالکوپیریت توسط بورنیت که هر دوی آنها در زون احیایی برونزاد توسط کوولیت جانشین شده‌اند. (g) جانشینی کالکوپیریت توسط کالکوسیت و کوولیت در زون برونزاد. (h) جانشینی کالکوپیریت توسط تنوریت و کوولیت. (علائم اختصاری همه تصاویر از ویتنی و ایوانز (Whitney and Evans, 2010) می‌باشد).

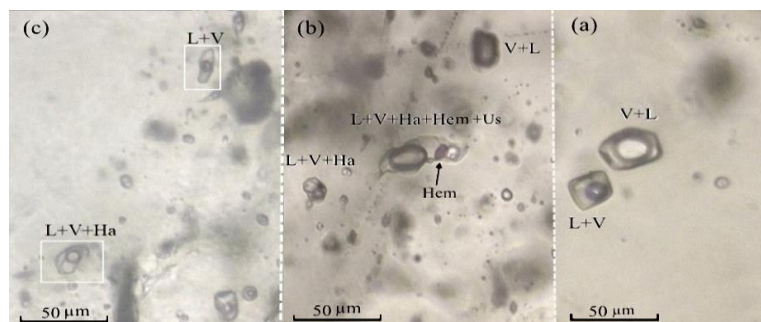
Minerals	→ Decreasing time →				
	Mineralization and alteration				
	Hypogene processes			Supergene zones	
	Early	Middle	Late	Oxidized	Reduced
Quartz					
Sericite					
Epidote					
Chlorite					
Clays					
Calcite					
Biotite (Sec.)					
K-Feld. (Sec.)					
Molybdenite					
Ore					
Pyrite					
Chalcopyrite					
and					
Magnetite					
Hematite					
gangue					
Goethite					
Tenorite					
Limonite					
Malachite					
Azurite					
Jarosite					
Gypsum					
Neotocite					
Chalcocite					
Covellite					

شکل ۱۰: توالی پاراژنتیکی کانی‌های کانسنکی و باطله در زون‌های دگرسانی و مینرالیزه منطقه نیاز.

گردیدند (جدول ۲). براساس محتوای فاز، میانبراهای سیال منطقه نیاز شامل چهار نوع: (۱) میانبراهای تک فاز بخار، (۲) میانبراهای غنی از مایع (L+V) (دوفازی، ۳) میانبراهای غنی از بخار (V+L) (دوفازی و ۴) میانبراهای چند فاز، (۵) میانبراهای هالیت دار (LVH) می‌باشند (جدول ۲). این میانبراهای به اشکال بلور منفی کوارتز، چندوجهی نامنظم و کشیده دیده می‌شوند (شکل ۱۱). فازهای جامد در میانبراهای چند فاز جامد حدود ۵٪ حجم آنها را اشغال نموده که عمدتاً هالیت بوده و بعضاً توسط مقادیر کمتری سیلوت، همتایت و سولفید همراهی می‌شوند. در میانبراهای سیال دو فاز غنی از بخار، فاز بخار تا ۸۰ درصد حجم آنها را اشغال می‌نماید، لذا عملیات سرمایش جهت تعیین آخرین نقطه ذوب یخ امکان‌پذیر نبوده و در نتیجه شوری آنها اندازه‌گیری نگردید. به‌طور متوسط درجه پرتشگی در میانبراهای سیال دو فاز غنی از مایع در حدود ۰/۶ و در چند فاز جامد در حدود ۰/۵ می‌باشد.

مطالعات میانبراهای سیال: به منظور شناخت ماهیت فیزیکوشیمیایی سیال کانه‌ساز و بررسی روند تغییرات شیمیایی و دمای سیال کانه‌ساز تعداد ۸ مقطع دوبر صیقل از بلورهای کوارتز موجود در رگه/رگچه‌های کوارتز-سولفید (کالکوپیریت، مولیبدنیت، پیریت و گالن) در زون‌های دگرسانی پتاسیک، فیلیک و پروپیلیتیک کانسار نیاز برای مطالعات ریزدماسنجی انتخاب شدند. در جدول ۱ و ۲ کلیه ویژگی‌های زمین‌شناسی نمونه‌های انتخاب شده به‌طور خلاصه آمده است. در آزمایشگاه برای تجزیه‌های ریزدماسنجی ابتدا ویفرهایی به ضخامت حدود $100\mu\text{m}$ تهیه گردیده و سپس مطالعات پتروگرافیکی بر روی آنها انجام شد. در این مرحله شکل، اندازه و محتوای فاز میانبراهای سیال ثبت گردید.

سنگ‌نگاری میانبراهای سیال: بلورهای کوارتز موجود در رگچه‌های کوارتز-سولفید (جدول ۲) حاوی میانبراهای سیال فراوان در اندازه‌های مختلف می‌باشند. تنها میانبراهای بزرگتر از ۶ میکرون جهت مطالعه انتخاب



شکل ۱۱: تصاویر میکروسکوپی از انواع فازهای موجود در میانبراهای سیال. انواع فازهای مایع (L)+بخار (V)+ فاز جامد؛ هالیت (Ha)، همتایت (Hem)، فاز جامد ناشناخته (Us) با نسبت‌های متفاوتی وجود دارند.

بازده‌های نقاط یوتکتیک فوق می‌توان چنین استنباط کرد که میانبراهای سیال در نمونه‌های ۲۶، ۵C و 04A علاوه بر NaCl مقادیر کمی هم از نمک‌های محلول دیگر مثل MgCl_2 و FeCl_2 نیز دارند (جدول ۲). عملیات گرمایش برای همه میانبراهای به جز میانبراهای تک فاز بخار صورت گرفت و دماهای همگنش آنها ثبت گردید. در میانبراهای سیال چند فاز، حاوی جامد، دماهای حل شدن فاز(های) جامد ($T_{\text{S(NaCl)}}$ ، $T_{\text{S(KCl)}}$) و دماهای همگنش فازهای مایع و بخار ($T_{\text{H(L-V)}}$) ثبت گردید. تعیین شوری میانبراهای سیال دارای فازهای جامد هالیت و سیلوت با استفاده از مقادیر $T_{\text{S(NaCl)}}$ و $T_{\text{S(KCl)}}$ و نمودار $\text{H}_2\text{O}-\text{NaCl}-\text{KCl}$ (Roedder, 1984) و برای میانبراهای سیال هالیت‌دار با

ریزدماسنجی میانبراهای سیال: برای محاسبه دماهای همگن شدن و شوری میانبراهای از روش سرمایش و گرمایش تنها بر روی میانبراهای سیال اولیه استفاده شد. عملیات سرمایش عمدتاً برای میانبراهای فاقد هالیت انجام شد و دماهای اولین ذوب یخ و ذوب نهایی آن برای این میانبراهای اندازه‌گیری گردید (جدول ۲). مقادیر به دست آمده از دماهای اولین نقطه ذوب یخ (نقاط یوتکتیک) میانبراهای سیال (T_{FM}) در فرآیندهای سرمایش حاکی از آنست که این مقادیر در نمونه‌های 26، 05C و 04A در محدوده منفی ۳۳- تا ۳۸- درجه سانتیگراد، در نمونه ۲۷ در محدوده ۲۰/۵- تا منفی ۲۱/۴-، در نمونه 02D در بازه ۲۲- تا ۲۴-، در نمونه 03B در محدوده ۴۵- تا منفی ۵۰- می‌باشند. از

(b) میانبرهای LVH: این میانبرها کمترین فراوانی را در زون فلیک داشته و عمدتاً بین ۲۴۰ تا ۲۶۰ درجه سانتیگراد همگن می‌شوند. بیشترین فراوانی شوری این میانبرها نیز بین ۳۰-۳۵ درصد وزنی معادل نمک طعام می‌باشد.

(c) میانبرهای VL: در کل ۱۰ میانبر از این نوع در این زون دگرسانی مورد اندازه‌گیری قرار گرفتند. بازه دماهای همگن این میانبرها ۵۳۱-۴۲۰ درجه سانتیگراد می‌باشد که بیشترین فراوانی آنها در محدوده ۵۲۰-۴۸۰ درجه سانتیگراد قرار می‌گیرد. بازه شوری این میانبرها ۲-۰/۶ درصد وزنی معادل نمک طعام می‌باشد.

(۳) میانبرهای زون دگرسانی پروپیلیتیک: تعداد ۳۷ میانبر سیال در دو نمونه از رگچه‌های سیلیسی (به ویژه نوع E) موجود در این زون دگرسانی مورد اندازه‌گیری قرار گرفته‌اند. تمام میانبرهای موجود در این زون دگرسانی از نوع LV بوده‌اند. این میانبرها از ۱۷۰ تا ۳۵۰ درجه سانتیگراد همگن شده‌اند اما بیشترین فراوانی آنها در بازه‌های ۱۹۰-۱۷۰ و ۲۷۰-۲۳۰ درجه سانتیگراد می‌باشد (شکل ۱۲c). شوری در این میانبرها کمتر از ۳ درصد وزنی معادل نمک طعام می‌باشد (شکل ۱۳c).

چگالی میانبرهای سیال: چگالی‌های میانبرهای سیال دو فازی در محدوده بین ۰/۶ الی ۰/۸ و میانبرهای سیال چند فازی جامد بین ۰/۹ الی ۱/۲ قرار دارند (شکل ۱۴).

تفسیر یافته‌های ریزدماسنجی: نمودار دمای همگن شدن در مقابل شوری میانبرهای سیال نشانگر محدوده وسیع دماهای همگن شدن و شوری است (شکل ۱۵). این یافته‌ها عمدتاً در محدوده کانسارهای پورفیری پلات شده و تقریباً مشابهت با یافته‌های ریزدماسنجی در کانسار پورفیری مس-مولیبدن سونگون (Calagari, 2004b)، کیکال (Simmonds et al, 2015) و کانسارهای پورفیری شمال شرق اراک (Ayati et al, 2012) دارند. بررسی وضعیت پراکندگی مربوط به یافته‌های ریزدماسنجی در نمودار دمای همگن در مقابل شوری (شکل ۱۶) نشان می‌دهد که تعدادی از میانبرهای هالیت‌دار بالاتر از منحنی اشباع از NaCl قرار می‌گیرند که در این حالت $T_S(\text{NaCl}) > T_H(\text{L-V})$ می‌باشد. این میانبرهای سیال می‌توانند از سیال فوق اشباع از NaCl به دام افتاده باشند. در واقع این میانبرهای سیال نشانگر شوری در حال جوشش نمی‌باشند و ممکن است

استفاده از مقادیر $T_S(\text{NaCl})$ و نمودار $\text{H}_2\text{O}-\text{NaCl}$ (Shepherd et al, 1985) انجام گرفت.

فراوانی دماهای همگن شدن و شوری: فراوانی دماهای همگن شدن و شوری میانبرهای سیال بر حسب دگرسانی‌های پتاسیک، فلیک و پروپیلیتیک در منطقه نیاز به صورت زیر می‌باشند (جدول ۳):

(۱) میانبرهای زون دگرسانی پتاسیک: تعداد ۹۶ میانبر سیال (LVH, VL, LV) در این زون مورد مطالعه قرار گرفته‌اند که دماهای همگن شدن آنها از ۱۸۰ تا بیش از ۵۳۵ درجه سانتیگراد متغیر می‌باشد (شکل ۱۲a).

(a) میانبرهای LV: در این میانبرها بیشترین فراوانی دماهای همگن شدن از ۲۸۰ تا ۳۲۰ درجه سانتیگراد می‌باشد و شوری‌های آنها از ۰/۲ تا ۱۱/۶ درصد وزنی معادل نمک طعام تغییر می‌کنند (شکل ۱۳a).

(b) میانبرهای LVH: تعداد ۳۲ میانبر هالیت‌دار در زون پتاسیک مورد مطالعه قرار گرفته‌اند که بیشترین فراوانی دماهای همگن شدن آنها از ۲۲۰ تا ۲۸۰ درجه سانتیگراد می‌باشد. شوری در این میانبرها بازه‌ای بین ۲۹ تا ۶۰ درصد وزنی معادل نمک طعام داشته که بیشترین فراوانی مربوط به بازه ۳۰ تا ۴۵ درصد وزنی معادل نمک طعام می‌باشد.

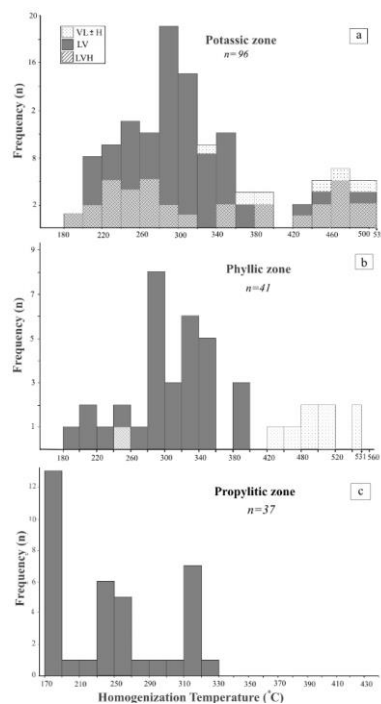
(c) میانبرهای VL: این میانبرها در نمونه‌های زون پتاسیک وجود دارند و تنها ۶ مورد از آنها مورد اندازه‌گیری قرار گرفته‌اند. بازه دماهای همگن شدن در این میانبرها از ۳۲۰ تا ۵۳۵ درجه سانتیگراد می‌باشد. بر خلاف دمای همگن شدن شوری این میانبرها به علت وجود فاز بخار، کم بوده و حداکثر به ۵ درصد وزنی معادل نمک طعام می‌رسد.

(۲) میانبرهای زون دگرسانی فلیک: از ۴۱ میانبر مطالعه شده در این زون دگرسانی هر سه نوع میانبر در این زون دگرسانی حضور دارند، اما میانبرهای LV نسبت به دو نوع میانبر دیگر دارای فراوانی بیشتری هستند (شکل ۱۲b).

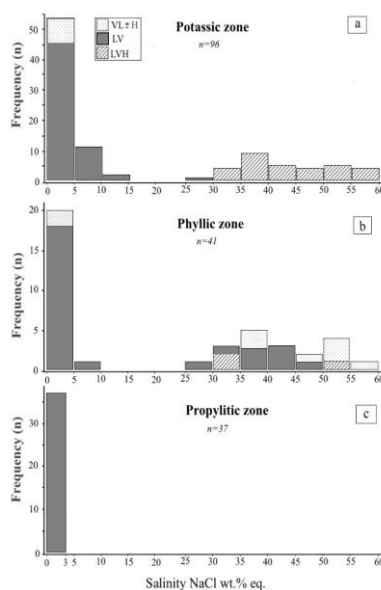
(a) میانبرهای LV: تجزیه ریزدماسنجی این میانبرها نشان می‌دهد که دماهای همگن شدن از ۱۸۰ تا ۴۰۰ درجه سانتیگراد متغیر است اما دارای قله فراوانی ۲۸۰ تا ۳۶۰ درجه سانتیگراد می‌باشد. بیشترین فراوانی‌های شوری در این زون ۰/۲- و ۵ و ۳۵-۴۵ درصد وزنی معادل نمک طعام می‌باشند (شکل ۱۳b).

شوند (شکل ۱۶). این نوع میانبارها قطعاً سیالات در حال جوشش را به تله انداخته‌اند (Shepherd et al, 1985). در این نمودار همچنین می‌توان روندهای تکاملی سیالات به تله افتاده شده را در نمونه‌های برداشت شده از زون‌های مختلف دگرسانی (پتاسیک و فلیک) استنباط نمود. بر این اساس بنظر می‌رسد که جوشش و سرد شدن ساده مهم ترین مکانیسم‌های کنترل کننده نهشت کانسنگ‌ها در نیاز بوده‌اند.

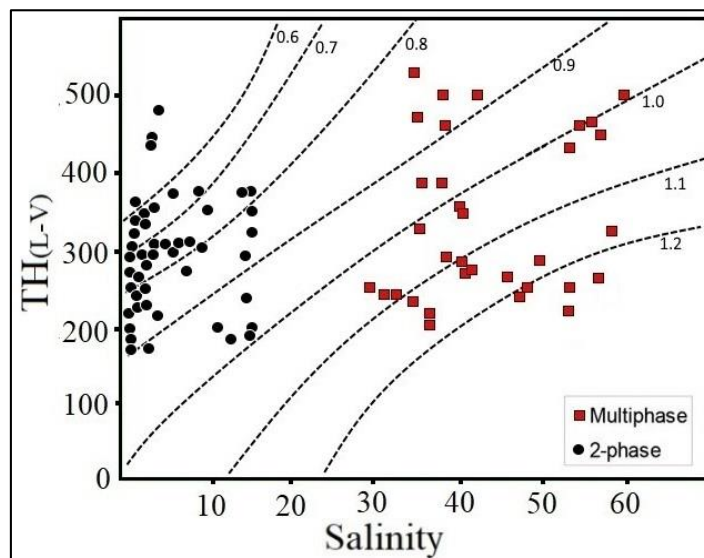
ذرات بسیار ریز هالیت جامد را در جریان جوشش به صورت ناهمگن به تله انداخته باشند (Calagari, 2004b; Simmonds, et al, 2015) و یا در اثر دم بریدگی میانبارهای هالیت‌دار بعد از به تله افتادن به وجود آمده باشند (Ahmad and Rose, 1980). تعدادی از میانبارهای هالیت دار نیز وجود دارند که در آنها مقدار $T_{H(L-V)}$ برابر و یا تقریباً نزدیک به مقدار $T_{S(NaCl)}$ می‌باشد. نقاط مربوط به این نوع میانبارها در روی منحنی اشباع و در نزدیکی آن پلات می



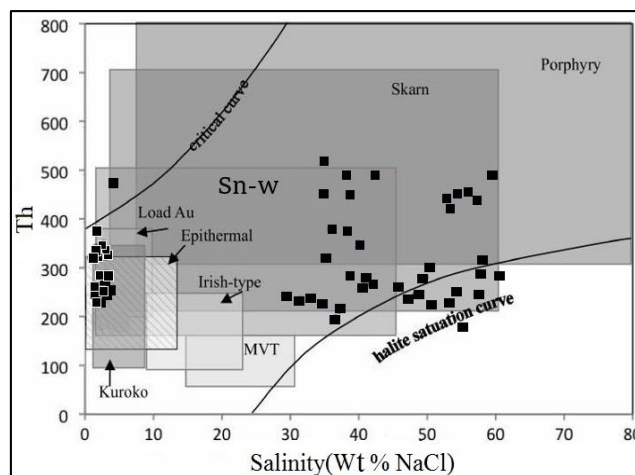
شکل ۱۲: فراوانی دماهای همگن شدن میانبارهای سیال برای رگچه‌های کوارتزی زون‌های دگرسانی: a: پتاسیک، b: فلیک، c: پروپیلیتیک.



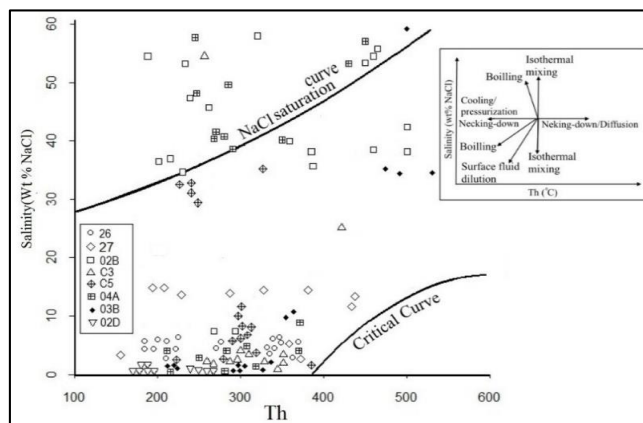
شکل ۱۳: فراوانی شوری میانبارهای سیال برای زون‌های دگرسانی، a: پتاسیک، b: فلیک، c: پروپیلیتیک.



شکل ۱۴: نمودار دمای همگن شدن/ شوری جهت تعیین چگالی سیالات درگیر به تفکیک انواع دو فازی و چند فازی (Zhang and Frantz, 1987). بیشتر نمونه‌های دو فازی در بازه ۰/۶۲-۰/۸۷ و میانبرهای چند فازی در بازه ۰/۹-۱/۲ قرار می‌گیرند.



شکل ۱۵: نمودار دمای همگن شدن در مقابل شوری سیال برای کانسارهای مختلف (Wilkinson, 2001). (جهت نمایش گرافیکی بهتر، تعدادی از میانبرها ترسیم نشده‌اند). همانند کانسارهای پورفیری، میانبرهای کانسار نیاز پراکندگی دمای همگن و شوری زیادی را نشان می‌دهند.



شکل ۱۶: دمای همگن شدن در مقابل شوری برای میانبرهای سیال (دوفازی و چند فازی) به تفکیک نمونه‌ها.

نتیجه‌گیری

منطقه نیاز در غرب مشگین شهر جزئی از ناحیه مستعد کانه‌زایی قره‌داغ است. نفوذ توده‌های آذرین الیگومیوسن و فازهای کوچک بعدی در درون واحدهای پالئوسن-ائوسن و وجود شکستگی‌ها و گسل‌های فراوان در این منطقه باعث رخداد دگرسانی و کانه‌زایی شده است. واحدهای سنگی این منطقه شامل باتولیت I و II (گرانیتوئید خانباز و گرانودیوریت خانکندی)، کوارتز مونزونیت/کوارتز مونزونودیوریت نیاز و واحدهای برشی و کانه‌دار ریوداسیتی است که ویژگی‌های ژئوشیمیایی عناصر کمیاب در آنها حاکی از تشابه با ماگماهای مرتبط با فروران‌ش است. بر پایه مطالعات کانی‌شناسی و روابط قطع شدگی و پاراژنتیکی پنج گروه رگچه در منطقه نیاز شناسایی شدند که به صورت A, B, C, D, E نامگذاری شدند. چهار نوع دگرسانی درون‌زاد در منطقه نیاز تشخیص داده شد که شامل پتاسیک، پروپیلیتیک، فلیک و آرژیلیک حدواسط می‌باشند. کانه‌زایی و دگرسانی همبستگی مکانی و زایشی با توده نفوذی کوارتز مونزونیتی و برش‌های کانه‌دار ماگمایی/اگرمایی در منطقه نیاز نشان می‌دهند. کالکوپیریت مهم‌ترین کانی درون‌زاد مس و مولیبدنیت کانی اصلی مولیبدن در منطقه نیاز است که به صورت افشان، رگچه‌ای، داریستی و همچنین برشی در طی سه مرحله کانی‌زایی پیشین، میانی و پسین تشکیل شده‌اند.

در مرحله کانی‌زایی پیشین ابتدا رگچه‌های گروه A (شامل کانی‌های کوارتز + پیریت + کالکوپیریت $\pm$ مگنتیت) و سپس رگچه‌های گروه B (شامل کانی‌های کوارتز + کالکوپیریت + مگنتیت $\pm$ همتایت) تشکیل شده‌اند. در مرحله کانه‌زایی میانی رگچه‌های گروه C (شامل کانی‌های کوارتز + مولیبدنیت + کالکوپیریت $\pm$ پیریت) و D (شامل کانی‌های کوارتز + پیریت + کالکوپیریت + گالن $\pm$ اسفالریت $\pm$ همتایت) و در مرحله کانه‌زایی پسین بخشی از

رگچه‌های گروه D و نیز رگچه‌های گروه E (شامل کانی‌های کوارتز، کلسیت و ندرتاً پیریت) تشکیل شده‌اند. در طی فرایندهای برون‌زاد، کانی‌های ثانویه نظیر گوتیت، لیمونیت، همتایت، ملاکیت، آزوریت و تنوریت در زون اکسیدان (بالای سطح سفره آبدار) و سولفیدهای مس (کالکوسیت و کوولیت) در زون احیایی (زیر سطح سفره آبدار) تشکیل شده‌اند. مطالعات میانبارهای سیال در بلورهای کوارتز همزیست با کانه‌های سولفیدی، دماهای همگنش بین ۱۷۰ تا ۵۳۵ درجه سانتیگراد و شوری‌های بین ۰/۲ تا ۶۰ درصد وزنی معادل نمک طعام را نشان می‌دهند. بررسی دماهای همگن شدن به تفکیک زون‌های دگرسانی پتاسیک، فلیک و پروپیلیتیک در کانسار نیاز نشان می‌دهد که بازه‌های فراوانی دماهای همگن شدن در این زون‌ها به ترتیب 180°C – 535°C ، 180°C – 531°C و 170°C – 330°C می‌باشد که بیشترین فراوانی دماهای همگن شدن در زون پتاسیک در بازه ۳۶۰–۲۸۰ درجه سانتیگراد، در زون فلیک در دو بازه ۳۰۰–۲۸۰ و ۳۵۵–۳۲۰ درجه سانتیگراد، در زون پروپیلیتیک در بازه ۱۹۰–۱۷۰ درجه سانتیگراد می‌باشند (جدول ۳). وجود رگچه‌های نوع A مربوط به مراحل پیشین کانه‌زایی در هر دو زون فلیک و پتاسیک باعث نزدیکی بخشی از دماهای همگن شدن میانبارهای سیال هر دو زون شده است. مطالعات ریزدماسنجی در منطقه نیاز نشان داده که دو فرآیند جوشش و سرد شدن ساده سیالات کانه‌دار، فرآیندهای اصلی در نهشت کانه‌های کانسنگی بوده‌اند.

سپاسگزاری

نگارندگان از حمایت‌های شرکت گسترش و نوسازی معادن خاورمیانه (ممرادکو) و همچنین از همکاری‌های معاونت پژوهشی و فناوری دانشگاه تبریز نهایت قدردانی خود را ابراز می‌دارند.

جدول ۱: ویژگی‌های سنگ‌شناسی، کانه‌زایی، دگرسانی و سامانه رگچه‌ای نمونه‌های مورد مطالعه برای میانبار سیال.

Sample name	Host rock	Alteration	Minerals (gangue and opaque)	Veinlet type	Depth (meters)
26	monzodiorite	propylitic	quartz, pyrite, magnetite, calcite	A, E	75
27	granodiorite	potassic	quartz, pyrite, magnetite, calcite	A	85
02B	volcanic breccia	potassic	quartz, pyrite, molybdenite, galena	B, C	45
05C	quartz monzonite	potassic	quartz, pyrite, chalcopyrite	C	130
04A	quartz monzonite	potassic	quartz, pyrite, chalcopyrite, molybdenite	B, C	175
03B	quartz monzonite	phyllic	quartz, pyrite, chalcopyrite, sphalerite	A, D	180
03C	granodiorite	phyllic	quartz, pyrite, chalcopyrite, magnetite	B	205
02D	rhyodacite	propylitic	quartz, calcite	E	75

جدول ۲: خلاصه نتایج تجزیه ریزدماسنجی بر روی میانبارهای سیال انتخاب شده در بلورهای کوارتز موجود در رگچه‌های همراه با کانه زایی سولفیدی در زون کانه‌دار منطقه نیاز. (L=liquid, V= vapor, S= solid, Ha = halite, Us = unknown solid).

Sample	n	size (µm)	Phase content	T _{mice} , °C	Th, °C	T _{S(NaCl)} , °C	Mode of homo.	Salinity, wt%	Bulk density, g/cm ³
26	18	5-16	L+V	-0.9 to -1.8	240-357		L+V→L	1.38-3.03	0/55-0/98
27	15	6-12	L+V	-1 to -11.5	170-406		L+V→L V+L→V	1.74-15.27	0/55-15/27
02B	17	8-16	L+V+S _(Ha) ± Us	-	188-500	250-487	L+V+ S→L	34.68-58.02	0/82-1/25
	8	8-30	L+V ± Us	-0.2 to -4.5	215-296	-	L+V→L	0.35-7.17	0/82-1/25
	3	10-12	V+L	-	340-535	-	V+L→V	-	0/55-0/98
05C	4	6-9	L+V+S _(Ha)	-	240-327	153-258	L+V+ S→L	29.39-35.19	0/82-1/25
	16	6-20	L+V	-0.6 to -6	223-309	-	L+V→L	0.8-9.41	0/55-0/98
	1	14	V+L	-1	385	-	V+L→V	0.6-1.57	0/55-0/98
04A	11	7-25	L+V+S _(Ha) ± Us	-	245-430	306-485	L+V+ S→L	38.63-57.75	0/82-1/25
	11	6-20	L+V	-0.9 to -2.9	211-445	-	L+V→L	1.57-4.8	0/55-0/98
	1	12	V+L± Us	-	496	-	V+L→V	-	0/82-1/25
03B	11	8-20	L+V ± Us	-0.2 to -6.5	181-352	-	L+V→L	0.35-9.86	0/82-1/25
	10	7-20	V+L± Us	-0.5 to -1.2	326-531	-	V+L→V	0.88-2.07	0/82-1/25
	3	14-16	V+L+S _(Ha) ± Us	-	251-505	473-531	V+L+ S→V	56.2-63.9	0/82-1/25
03C	15	5-10	L+V	-1 to -2.4	259-351		L+V→L	1.57- 4.07	0/55-0/98
02D	19	8-26	L+V	-0.4 to -0.7	170-267	-	L+V→L	0.71-1.23	0/55-0/98

جدول ۳: خلاصه نتایج بیشترین فراوانی مطالعات ریزدماسنجی بر روی میانبارهای سیال به تفکیک نوع دگرسانی و فازهای میانبارهای سیال.

		LV	LVH	VL
Potassic	T _H	280-320	220-280	240-500
	Sal.*	0/2-10	30-45	0/2-5
Phyllic	T _H	280-360	240-260	480-520
	sal.	0/2-5	30-35	35-40
		35-45		50-55
Propylitic		170-190	-	-
	T _H	230-270		
	sal.	0/2-3	-	-

* Salinity wt% NaCl

References

- Ahmad, S.N. and Rose, A.W., 1980. Fluid inclusions in porphyry and skarn ore at Santa Rita, New Mexico: *Econ. Geol.*, v. 75, p. 229-250.
- Aghazadeh, M., Emami, M.H., Moin Vaziri, H., Rashidnezhad Omran, N. and Castro, A., 2011. Post-collisional shoshonitic, C-type adakitic and lamprophyric plutonism in the Khankandi pluton, Arasbaran (NW Iran). *Geosciences*, v. 20 (78), p. 173-178 (in Persian with an English abstract).
- Ayati, F., Asadi, Harouni, H., Bagheri, H. and Mansouri Isfahani, M., 2012. Application of mineralograpy and fluid inclusion data to determine the formation conditions of porphyry copper deposit, NE Arak. *Petrology*, v. 3 (12), p. 15-30 (in Persian).
- Batchelor, R.A. and Bowden, P., 1985. Petrogenetic interpretation of granitoid rock series using multicationic parameters: *Chemical Geology*, v. 48, p. 43-55.
- Calagari, A.A., 2004b. Fluid Inclusion studies in quartz veinlets in the porphyry copper deposit at Sungun, East Azerbaijan, Iran: *Journal of Asian Earth Sciences*, v. 23(2), p. 179-189.
- Chen, Z. and Hardy, W.R., 2002. Apparent digestibility coefficients and nutritional value of cottonseed meal for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*): *Aquaculture*, v. 212, p. 361-372.
- Frost, B.R., Barnes, C.G., Collins, W.J., Asrculus, R.J., Ellis, D.J. and Frost, C.D., 2001. A Geochemical Classification for Granitic Rocks: *Journal of Petrology*, v. 42, p. 2033-2048.
- Hassanpour, S., Alirezaei, S., David, S. and Sergey, S., 2015. SHRIMP zircon U–Pb and biotite and hornblende Ar–Ar geochronology of Sungun, Haftcheshmeh, Kighal and Niaz porphyry Cu–Mo systems: evidence for an early Miocene porphyry-style mineralization in northwest Iran: *International Journal of Earth Sciences*, v. 104, p. 45-59.
- Kuster, D. and Harms, U., 1998. Post-collisional potassic granitoids from the southern and northwestern parts of the Late

- Neoproterozoic East African Orogen, a review: *Lithos*, v. 45, p. 177-19.
- Mohammadian, H., 2013. Mineralogy and geochemistry of Cu mineralization, Niaz-Noghdouz area, Meshginshahr. M.Sc. thesis, Shahid Beheshti University, Tehran, 156 p (in Persian).
- Mohammadian, H., Yazdi, M., Hosseinzadeh, Gh. and Masoudi, F., 2013. Petrology and alteration in the Niaz copper prospect, Meshginshahr-Ahar. 2nd National Symposium of Geological Society of Iran, Shahid Beheshti University (in Persian).
- Molaei, H., 2011. Geochemistry and petrology of Mazraeh granodiorite, north of Ahar, northeast Azarbayjan, and its comparison with some other granodiorites, *Iranian Journal of Mineralogy and Crystallography*, v. 19(1), p. 183-198 (in Persian).
- Mahdavi, M.A. and Amini, Fazl, A., 1988. 1:100000 geologic map of Ahar, Geological Survey and Mineral Exploration of Iran (in Persian).
- McDonough, W.F. and Sun, S.S., 1989. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: Implications for mantle composition and processes: *Geological Society, London. spec. pub.*, v. 42, p. 313-345.
- Middlemost, E.A.K., 1994. Naming materials in the magma/igneous rock: *Earth-Science Reviews*, v. 37, p. 215-224.
- Peccerillo, A. and Taylor, S.R., 1976. Geochemistry of eocene calc-alkaline volcanic rocks from the Kastamonu area, northern Turkey: *Contributions to Mineralogy and Petrology*, v. 58, p. 63-81.
- Roedder, E., 1984. Fluid inclusions, *Reviews in Mineralogy: Mineralogical Society of America*, v. 12, 644 p.
- Rollinson, H., 1993. *Using Geochemical Data: Evaluation, Presentation, Interpretation*: Longman, Essex, 384 p.
- Simmonds, V., Calagari, A.A., Moayyed, M. and Jahangiry, A., 2010. Investigation on petrology and petrogenesis of porphyritic quartz monzonite stock in Kighal (north of Varzeghan, East Azarbaijan province). *Iranian Journal of Geology*, v. 13, p. 47-60 (in Persian).
- Shepherd, T., Rankin, A.H. and Alderton, D.H.M., 1985. *A Practical Guide to Fluid Inclusion Studies*: Blackie, London, 239 p.
- Sillitoe, H., 1985. Ore-related breccias in volcano plutonic arcs: *Economic geology*, v. 80, p. 1467-1514.
- Simmonds, V., Calagari, A.A. and Kyser, K., 2015. Fluid inclusion and stable isotope studies of the Kighal porphyry Cu-Mo prospect, East-Azerbaijan, NW Iran: *Arabian J. of Geoscience*, v. 8, p. 437-453.
- Taylor, S.R. and McLennan, S.M., 1985. *The Continental Crust; Its composition and evolution; an examination of the geochemical record preserved in sedimentary rocks*, Blackwell: Oxford, 312 p.
- Whitney, L.D., 2010. Abbreviations for Names of Rock-Forming Minerals: *American Mineralogist*, v. 95, p. 185-187.
- Wilkinson J.J., 2001. Fluid inclusions in hydrothermal ore deposits: *Lithos*, v. 55, p. 229-272.
- Wilson, M., 1989. *Igneous Petrogenesis: A Global Tectonic Approach*: Unwin Hyman, London, 466 p.
- Wu, F.Y., Jahn, B.M., Wilde, S.A., Lo, C.H., Yui, T.F., Lin, Q., Ge, W.C. and Sun, D.Y., 2003. Highly fractionated I-type granites in NE China, I: geochronology and petrogenesis: *Lithos*, v. 66, 241 p.
- Zhang, Y. and Frantz, D., 1987. Determination of the homogenization temperatures and densities of supercritical fluids in the system NaCl-KCl-CaCl₂-H₂O using synthetic fluid inclusions: *Chem. Geol.*, v. 64, p. 335-350.