


کانی‌شناسی، دگرسانی و ژئوشیمی کانی‌سازی اسکارن مس - آهن - طلا در کانسار مزرعه، شمال اهر، شمال غرب ایران

مهدی غارسی^۱، ایرج رسا^۱، محمد یزدی^{۱*} , علیرضا باباخانی^۲

۱- گروه زمین‌شناسی منابع معدنی و آب، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

۲- شرکت مهندسی مشاور پیچاب کانسار، تهران، ایران

Doi: <https://doi.org/10.48308/esrj.2023.103494> (پژوهشی)

پذیرش مقاله: ۱۴۰۱/۰۵/۱۵ تأیید نهایی مقاله: ۱۴۰۱/۱۲/۱۸

چکیده

کانسار مزرعه در ۲۰ کیلومتری شمال شهرستان اهر و زون ساختاری البرز غربی- آذربایجان و زون متالوژنی اهر- ارسباران قرار دارد. تزریق توده گرانیتوئیدی شیورداغ با سن الیگو- میوسن به داخل مجموعه آواری، کربناته، آتش فشانی قدیمی‌تر یک مجموعه دگرگونی شیبست، هورنفلس و اسکارن گارنتی - اپیدوتی و نیز مرمری را ایجاد نموده است. توده گرانیتوئیدی نیمه آکالن، پرآلومینه و جزو گرانیت‌های تیپ S طبقه‌بندی می‌شود. عمده کانه‌زایی به شکل آگرو اسکارن و در واحد اسکارن گارنتی - اپیدوتی با کانی‌های شاخص گارنت نوع آندرادیت و گروسولار، اپیدوت، آکتینولیت، کلریت، بیوتیت، سریسیت و آمفیبول انجام پذیرفته است. دگرسانی‌های کلریتی، پروپیلیتی و سریسیتی ارتباط ژنتیکی تنگاتنگی با زون کانه‌زایی دارند. ترکیب کانی‌شناسی فلزی شامل ماگنتیت، پیریت و سولفیدهای مس مثل کالکو پیریت، بورنیت و کوولیت، هماتیت (اسپیکولاریت)، گوتیت و اکسید مس (مالاکیت) با بافت رگه - رگچه‌ای و پراکنده در متن می‌باشد. عمده کانه‌زایی در مرحله اسکارن پس رونده ایجاد شده است. میانگین مقادیر مس در نمونه‌ها ۱۶۲۸۴ ppm، اکسید آهن ۳۵/۰۵ درصد، طلا ۳۳۸۰ ppb و نقره ۹/۹۴ ppm می‌باشد. به دو دلیل عمده می‌توان کانه‌زایی طلا در منطقه مستقل را از فاز کانه‌زایی اسکارن مس و کانه‌زایی نقره را مربوط به فاز اسکارن ولی با لیگاند حمل‌کننده متفاوت از عنصر مس دانست. اولاً عدم وجود همبستگی خطی بین مقادیر طلا و مس و هم‌چنین سولفور با عناصر نقره و طلا، ثانیاً ویژگی‌های توده گرانیتوئیدی مزرعه که همخوانی مناسبی با توده‌های نفوذی مرتبط با کمان آتش فشانی مولد کانی‌سازی اسکارن طلا، مس - آهن نشان می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: اسکارن، شمال غربی ایران، کانسار مزرعه، کانه‌زایی طلا.



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/>).

E-mail: m-yazdi@sbu.ac.ir

* نویسنده مسئول:

Mineralogy, alteration and geochemistry of Cu -Fe- Au deposit in Mazreh, N of Ahar, NW of Iran

Gharesi¹, M., Rasa¹, I., Yazdi^{*1} , M., Babakhani², A.R.,

1-Department of geology of Ore Minerals and Water Resources, Faculty of Earth Sciences, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran
2-Pichab Kansar Company, Tehran, Iran

(Original Article) <https://doi.org/10.48308/esrj.2023.103494>

Received: 06 Aug 2022 Accepted: 09 Mar 2023

Abstract

Mazraeh deposit is located at 20 Km north of Ahar. The area is part of Western Alborz – Azerbaijan structural zone. Intrusion of the Oligocene – Miocene Sheyvardaagh batholith in to the older carbonate and volcanoclastic rocks is responsible for contact metamorphism, contact metasomatic mineralization, and formation of schist, hornfels, marble and epidote - garnet skarn. This batholith is a subduction-related calc to sub alkaline, peraluminous and S-type granitoids. Due to the extensive Tertiary magmatism, skarnization and extensive alterations, this zone is one of the remarkable Fe, Au, Cu-mineralization in Iran. Major alterations are chloritic, propilitic and sericitic which have close genetic relationship to mineralization zone. The main mineralization stage occurs as exoskarn in garnet-epidote skarn type. The major rock forming minerals in the skarn are garnet (adradite and grossularite), epidote, actinolite, chlorite, biotite, sericite and amphibole. Mineralogical paragenesis consists of magnetite, pyrite and copper sulfides such as chalcopyrite, bornite and covellite, hematite (especularite), goethite and malachite. The mineralization is vein, veinlet and disseminated type. The main mineralization stage occurs in retrograde skarn. Average value of Cu is 16284 ppm, FeO^t 35.05 percent, Au 3380 ppb and Ag 9.94 ppm. There is no correlation between the values of Au and Cu as well as Ag and Au with S. It seems that Au mineralization is not simultaneous with Cu skarn mineralization but Ag mineralization is simultaneous with skarn phase. The geological, mineralogical and geochemical data show that the granitoid pluton of Mazraeh area is a fertile pluton with Cu – Fe-Au skarn mineralization.

Keywords: Skarn type, NW of Iran, Mazraeh deposit, Au mineralization.



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/>).

* Corresponding author E-mail address: m-yazdi@sbu.ac.ir

مقدمه

کمربند فلززایی قفقاز کوچک - البرز غربی از کوه-های قفقاز تا باختر رشته کوه البرز در ایران در ناحیه آذربایجان امتداد دارد (Bazin and Hubner, 1969; Superceanu, 1971). این کمربند در بردارنده کانسارهای اسکارن و پورفیری و اپی ترمال مس و مس - طلائی مهمی به سن ترشیاری در ایران، ترکیه و ارمنستان می‌باشد (کریم زاده و موید، ۲۰۰۲؛ کریم زاده، ۲۰۰۴). در ایران کانسارهای مهمی همچون سونگون، انجرد، مسجد داغی و مزرعه در این زون مهم متالورژیکی ایجاد شده‌اند (قربانی، ۱۳۸۱). برخی پژوهشگران این منطقه در شمال غرب کمربند مس ایران را کمربند مس ارسباران می‌نامد. (حسن پور، ۱۳۸۹). هم چنین در زون بندی محدوده‌های طلا دار به وسیله سازمان زمین شناسی کشور، این ناحیه زون اهر- ارسباران نام گذاری شده است. از مطالعات قبلی انجام شده در منطقه می‌توان به نقشه‌های ۱:۱۰۰۰۰۰ کلپیر (مهرپرتو و ناظر، ۱۳۷۸) و نیز نقشه زمین شناسی معدن مزرعه با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰ توسط شرکت پارس اولنگ و هم چنین مطالعات سنگ شناسی باتولیت شیورداغ (علوی و دیگران، ۱۳۹۲) و نیز مطالعات مقدماتی زمین شناسی و کانی شناسی ذخیره معدنی مس- آهن مزرعه (ملایی، ۱۳۸۸) اشاره کرد که بر روی نمونه‌های سطحی کانسار انجام گرفته است. در طی چند سال اخیر و با انجام حفاری‌های سیستماتیک اکتشافی مغزه گیری گسترده توسط شرکت ملی مس در این کانسار امکان مطالعه نمونه‌های زیر سطحی در این کانسار تا عمق ۳۰۰ متر و مطالعه عمیق و گسترده- تر کانی شناسی و ژئوشیمیایی این کانسار فراهم گردیده است. با توجه به گزارش مقادیر نسبتا بالای طلا در مغزه‌های به دست آمده از حفاری‌ها، بررسی روابط پارازنتیکی احتمالی میان کانه‌زایی طلا و

عناصر با ارزش فلزی دیگر و اسکارن مس- آهن در این کانسار برای ارزیابی پتانسیل معدنی و ارزش اقتصادی این کانسار اهمیت یافته است. هم چنین شناخت هر چه بهتر ترکیب کانی شناسی و مکانیسم کانه‌زایی در مزرعه می‌تواند برای مقایسه با دیگر کانسارهای مشابه و طراحی بهتر الگوی اکتشافی برای اکتشاف کانسارهای کشف نشده مشابه در کمربند فلززایی قفقاز کوچک - البرز غربی مفید واقع گردد. در این پژوهش با تکیه بر مطالعات کانی شناسی و ژئوشیمیایی سنگ‌های میزبان کانه- زایی و نیز سنگ‌های نفوذی مولد کانه‌زایی، بافت و ساخت ماده معدنی، پاراژنز کانی‌ها و ارتباط کانه با کانی‌های تشکیل دهنده سنگ درونگیر و نیز ارتباط فازهای مختلف کانه‌زایی با یکدیگر و همچنین عوامل کنترل کننده کانه‌زایی مورد بررسی و مطالعه قرار گرفته است تا در نهایت ارتباط کانه‌زایی عناصری از قبیل طلا و نقره با کانه‌زایی بیشتر شناخته شده مس و آهن مشخص گردد.

منطقه مورد مطالعه

در این میان کانسار اسکارن مزرعه از جمله کانسارهای معروف موجود در این منطقه می‌باشد که استخراج مس از آن از روزگاران پیشین انجام می‌شده است. این کانسار در شمال شرق تبریز و در ۲۰ کیلومتری شمال شهرستان اهر، در نقشه زمین- شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ کلپیر و مابین طول‌های جغرافیایی $47^{\circ} 00'$ ، $47^{\circ} 08'$ و عرض‌های جغرافیایی $38^{\circ} 36'$ ، $38^{\circ} 40'$ واقع است. منطقه مورد مطالعه از نظر زمین شناسی ساختاری بخشی از زون البرز باختری- آذربایجان می‌باشد (نبوی، ۱۳۵۵). طبق تقسیم بندی (Stocklin and Setudehnia, 1977) در زون آتش فشانی ترشیاری - کواترنری و در تقسیم بندی (آقانباتی، ۱۳۸۳) جزو پهنه مرکزی قرار می‌گیرد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در دو بخش صحرایی و آزمایشگاهی انجام شد. در بخش صحرایی پس از انجام پیمایش-های زمین‌شناسی و بررسی دقیق ۶۸۰۰ متر مغزه-های حفاری از ۶۱ گمانه اکتشافی حفر شده در معدن مزرعه، مجموعاً ۶۰ نمونه از ۲۱ گمانه انتخابی از مترژهای مختلف برداشت گردید. از این تعداد حدود ۳۶ نمونه از سنگ‌های آذرین توده نفوذی برای تهیه مقطع نازک، مطالعات سنگ-نگاری و نیز تجزیه شیمیایی توسط دستگاه XRF و نیز ۲۴ نمونه از زون‌های کانی‌سازی شده برای تهیه مقاطع صیقلی و نازک، بررسی کانه‌نگاری و تجزیه شیمیایی بوسیله دستگاه ICP-OES انتخاب گردید. بر روی ۷ نمونه نیز تجزیه کانی‌شناسی با دستگاه XRD انجام پذیرفت. نتایج تجزیه‌ها با استفاده از نرم‌افزار Minpet مورد تفسیر قرار گرفت و نمودارهای ژئوشیمیایی مربوطه برای عناصر مختلف ترسیم گردید.

بحث و نتایج

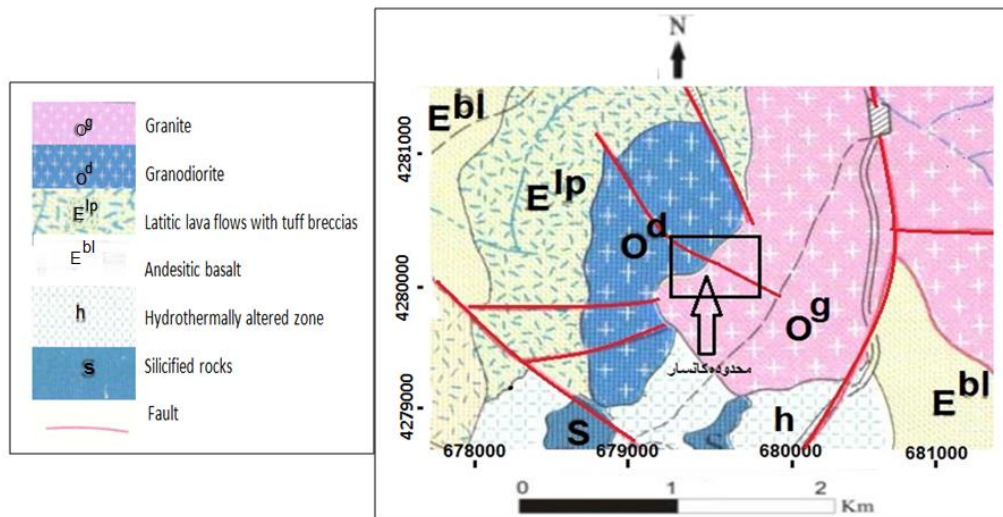
زمین‌شناسی منطقه

با توجه به نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰۰ کلیبر، محدوده مورد بررسی در بخش فرسایش یافته فلات مانند حوضه کلیبر - اهر که محل رخنمون توالی ضخیمی از سنگ‌های رسوبی، آتش‌فشانی کرتاسه فوقانی و سنگ‌های دگرگونه قدیمی‌تر و نیز سنگ‌های آتش‌فشانی و آذر آواری پالتوسن - ائوسن و توده‌های نفوذی گرانیتوئیدی الیگو میوسن است قرار دارد (شکل ۱). این منطقه بخشی از نوار آذرین درونی مزوزوئیک - ترشیری پهنه سندج - سیرجان محسوب می‌شود (محجل، ۱۳۷۸؛ بربریان، ۱۹۸۱). کانسارهای ناحیه اهر عمدتاً بر اثر تزریق توده‌های گرانیتوئیدی الیگومیوسن به داخل سنگ-های آتش‌فشانی اسیدی - حدواسط قدیمی‌تر به

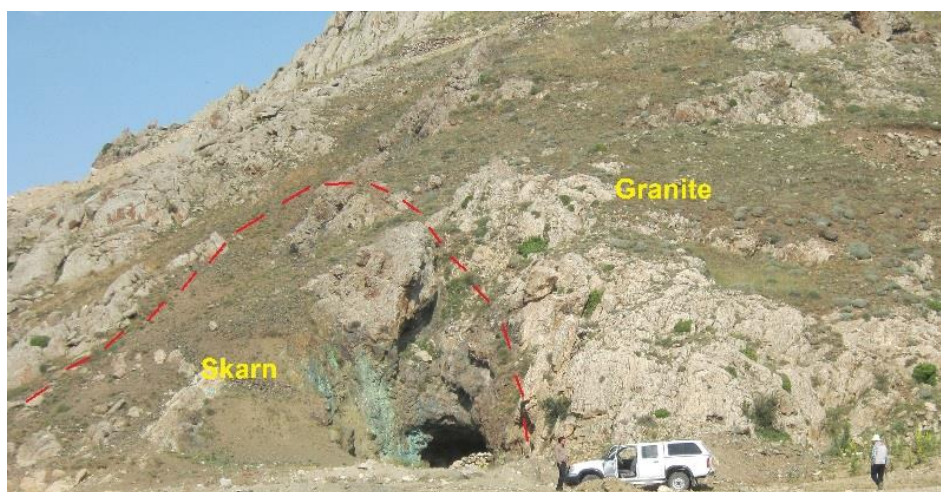
سن اولیگوسن و نیز سنگ‌های رسوبی آواری به سن ائوسن و نیز سنگ آهک کرتاسه ایجاد شده‌اند (Karimzadeh Somarin, 2004). مدل‌های مختلف کانه‌زایی در این ناحیه به ترکیب شیمیایی و عمق جایگیری توده نفوذی عامل کانه‌زایی و ترکیب شیمیایی سنگ میزبان بستگی دارد (Meinert, 1992; Meinet et al, 2005). قدیمی‌ترین واحد سنگی دارای رخنمون در محدوده مربوط به کرتاسه و شامل سنگ آهک مارنی نازک لایه کرم متمایل به زرد می‌باشد. رخنمون‌های سنگی عمده دیگر در محدوده مورد مطالعه توده گرانیتوئیدی شیورداغ می‌باشد که سنگ‌هایی با ترکیب گرانیت، گرانو دیوریت و دیوریت را شامل می‌شود (علوی و دیگران، ۱۳۹۴). (Lescuyer and Riou, 1976) فعالیت‌های ماگمایی اهر را مربوط به اوایل اولیگوسن می‌دانند، در حالی که هزارخانی سن ۲۰ میلیون سال (اوایل میوسن را برای ماگماتیسم این منطقه در نظر گرفته است (Hezarkhani, 2006). تزریق این توده گرانیتوئیدی به داخل مجموعه آواری، کربناته، آتش‌فشانی میزبان آن‌ها را به مجموعه دگرگونی شیبست (بیوتیت - کلریت شیبست)، هورنفلس و اسکارن گارنتی - اپیدوتی و نیز مرمر تبدیل نموده است (مهرپرتو و ناظر، ۱۳۸۰) (شکل ۲). دیگر واحد سنگی در محدوده واحد آتش‌فشانی ائوسن شامل آندزیت بازالتی تا پیروکسن آندزیت و بازالت و میان لایه‌هایی از توف و برش تا ترکیبی از گدازه‌های لاتیتی همراه با توف برشی می‌باشد. در حاشیه توده بزرگ شیورداغ رخنمون‌های کوچکی از توده‌های کوارتز دیوریت تا مونزودیوریت و رگه‌های سیلیسی دیده می‌شود. دایک‌های دیوریتی - میکرودیوریتی، گرانیتی و کوارتز مونزودیوریتی در منطقه سنگ‌های قدیمی‌تر را قطع کرده‌اند (باباخانی، ۱۳۸۸). تزریق ماگمای اولیگومیوسن، همراه با حرکات زمین

(ملایی، ۱۳۹۰). از نظر ساختاری در این منطقه تقریباً ۲ سری گسل مشاهده می‌شود. گسل‌های نسل اول که عموماً خاوری - باختری تا شمال باختری - جنوب خاوری می‌باشند و کنترل‌کننده کانی‌زایی هستند. این گسل‌ها معکوس بوده و ساز و کاری فشارشی دارند (باباخانی، ۱۳۸۸). گسل‌های جوان‌تر نسل دوم که گسل‌هایی کششی با روند عمومی شمالی - جنوبی تا شمال خاوری - جنوب باختری هستند، امتداد لغز بوده و گسل‌های نسل اول و مناطق کانی‌سازی شده را جابه‌جا کرده‌اند.

ساختی پیرنین در محدوده مورد بررسی، علاوه بر این که موجب خردشدگی شدید واحدهای سنگی شده، باعث به هم‌خوردگی روندهای سنگی نیز گردیده است. از این رو نهشته‌های میوسن و پلیوسن، در محدوده مورد مطالعه رخنمون ندارند ولی کواترنر با فعالیت چشمگیر آتش فشانی آغاز می‌گردد. به‌طوری که امروزه آثار این فعالیت‌های آتش‌فشان‌ها به شکل سنگ‌های بازالتی در اطراف معدن مزرعه دیده می‌شود. گستره معدن مزرعه ساختاری چین خورده دارد که در برگیرنده تاقدیسی است با روند اصلی خاوری - باختری



شکل ۱: نقشه زمین‌شناسی محدوده مزرعه، برگرفته از برگه ۱:۱۰۰۰۰۰ زمین‌شناسی کلیبر (مهرپرتو و ناظر، ۱۳۷۸)

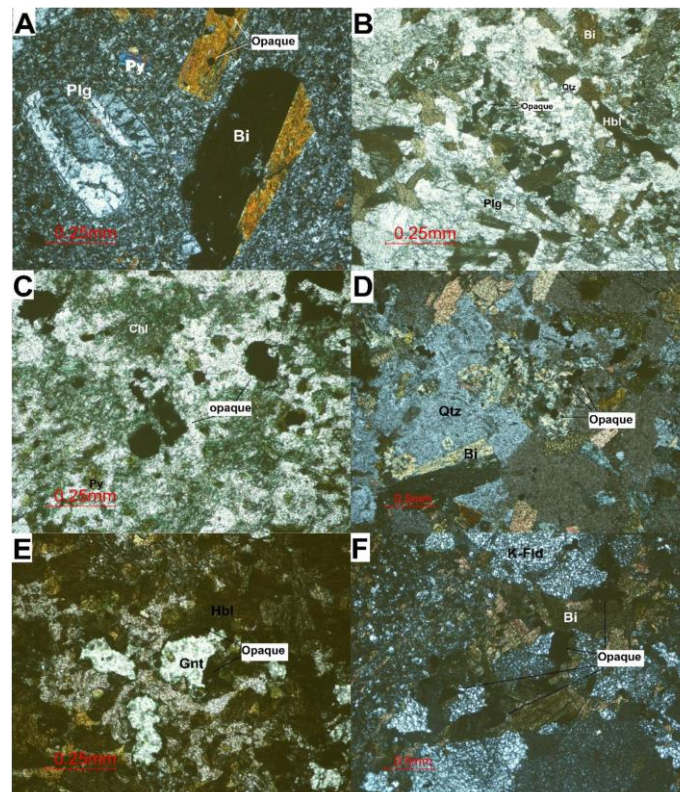


شکل ۲: نمایی از زون اسکارن در مجاورت توده نفوذی گرانیتوئیدی کانسار مزرعه (دید به سمت شمال)

سنگ‌نگاری و کانی‌شناسی

بر پایه مطالعات صحرایی و آزمایشگاهی، سنگ‌های آذرین محدوده مورد مطالعه شامل توده گرانیتی، توده گرانودیوریتی و نیز دایک‌های گرانیتی، مونزودیوریتی، میکرودیوریتی و نیز رگه‌های سیلیسی می‌باشد. زون دگرگونی مجاورتی نیز شامل زون اسکارن گارنت - اپیدوتی و نیز مرمر،

بیوتیت - کلریت - شیست و هورنفلس می‌باشد. با توجه به این که عمده کانه‌زایی در زون اسکارن گارنت - اپیدوتی و مرمری و در مجاورت توده گرانیتی و گرانودیوریتی حادث شده است، مشخصات سنگ‌نگاری این واحدهای سنگی و توصیف میکروسکوپی و بافت‌های چیره آن‌ها به تفکیک آمده است (شکل ۳).



شکل ۳: A: XPL) نمایی از بافت پورفیری سنگ گرانیت که در آن بلورهای درشت بیوتیت و پلاژیوکلاز در زمینه‌ای از ریزبلورهای کوارتز، پلاژیوکلاز و فلدسپار آلکالن دیده می‌شود. کانی اوپاک نیز به صورت ادخالی در درون بلور بیوتیت دیده می‌شود. B: PPL) نمایی از بافت گرانولار توده گرانودیوریتی که در آن بلورهای بیوتیت، هورنبلند، پیروکسن، کوارتز و پلاژیوکلاز به همراه مقادیر نسبتاً زیاد اوپاک به چشم می‌خورند. C: PPL) بافت ریزبلور نمونه اسکارن که چندین بلور کانی اوپاک (کانه) به همراه کلریت فراوان در اطراف کانه‌ها به همراه پیروکسن در خمیرمایه‌ای از بقایای سریستی شده پلاژیوکلاز و فلدسپار پتاسیم ریزبلور دیده می‌شود. D: XPL) نمایی از اسکارن کانی‌سازی شده که در آن کوارتزهای با حاشیه خلیجی و بیوتیت به همراه اوپاک دیده می‌شود. حاشیه خلیجی کوارتز نشانگر تاثیر دگرسانی گرمایی بر روی سنگ می‌باشد و هم‌چنین در قسمتی کانه‌زایی (اوپاک) بیوتیت به شدت تخریب شده است. E: PPL) نمایی از اسکارن که دانه‌های گارنت به همراه آمفیبول و کوارتز دیده می‌شوند. کانه‌زایی (اوپاک) در حاشیه یک بلور گارنت مشخص می‌باشد. F: XPL) نمایی از یک نمونه اسکارن که در آن تجمعی از بلورهای بیوتیت و اوپاک به همراه حجم زیادی از فلدسپارهای تخریب شده و سریست دیده می‌شود. Qtz: کوارتز، Plg: پلاژیوکلاز، Bi: بیوتیت، Py: پیروکسن، Hbl: هورنبلند، Gnt: گارنت، K-Feld: فلدسپار پتاسیم، Py: پیروکسن، Chl: کلریت، Opaque: اوپاک.

توده گرانیتی

نیمه جنوبی و بخش‌های شرقی محدوده مورد بررسی را توده بزرگ گرانیتی شیورداغ تشکیل می‌دهد که در یک روند شرقی - غربی به داخل مجموعه کربناته - آواری - آتش فشانی نفوذ نموده و در تماس با بخش‌های کربناته باعث اسکارنی شدن و با بخش‌های آواری و آتش فشانی، باعث هورنفلسی شدن شده است. رگه‌های سیلیسی نیز در این توده مشاهده می‌شود که به نظر حاصل فعالیت‌های مراحل پایانی محلول‌های گرمابی می‌باشد. در برخی از مناطق گرانیت دگرسان شده و به نظر می‌رسد این دگرسان شدن در اثر عوامل زمین ساختی و محلول‌های گرمابی متصاعد شده در مجاور عوامل ساختاری می‌باشد. توده گرانیتی در اکثر مناطق در تماس زمین ساختی با زون اسکارن قرار دارد و در مناطقی نیز با توده گرانودیوریتی، مرمر و شیست هم‌مرز می‌باشد. در مطالعات ماکروسکوپی نمونه‌های گرانیت رنگ عمومی خاکستری روشن تا قرمز روشن دارند و بلورهای شکل دار ارتوز داخل زمینه‌ای از کانی‌های فلدسپار و بیوتیت مشخص می‌باشند. در مطالعات میکروسکوپی بافت گرانولار تا پورفیری دارند و فنوکریست‌های ارتوز و پلاژیوکلاز و کوارتز به عنوان کانی‌های اصلی سنگ و کانی‌های بعدی شامل کلینوپیروکسن، آمفیبول و بیوتیت می‌باشند. پلاژیوکلازها ماکل پلی سنتتیک دارند و بلورهای کوارتز نیز در بیشتر مواقع دارای خاموشی موجی می‌باشند. بیوتیت‌ها کاملاً شکل دار می‌باشند و در مناطق نزدیک‌تر به زون کانه‌زایی معمولاً شدیداً کلریتی شده‌اند.

توده گرانودیوریتی

این توده در مناطق باختری محدوده مورد بررسی دارای رخنمون است. در نمونه‌های دستی ارتوزهای اولیه کاملاً شکل دار، بیوتیت و آمفیبول و پلاژیوکلاز

قابل مشاهده است. با توجه به مطالعات میکروسکوپی این سنگ‌ها بافت پورفیری تا گرانولار دارند. فنوکریست‌های ارتوز، پلاژیوکلاز و کوارتز از کانی‌های اصلی تشکیل دهنده سنگ می‌باشند. کلینوپیروکسن، آمفیبول و بیوتیت نیز در سنگ مشاهده می‌شود. کانی‌های اپاک کمتر از ۵ درصد متن سنگ را تشکیل می‌دهند.

زون کانه‌زایی

به نظر می‌رسد تشکیل اسکارن در دو مرحله اتفاق افتاده است. در مرحله اول نفوذ ماگما در بخش‌های سطحی پوسته باعث تشکیل یک هاله دگرگونی می‌گردد. مرحله دوم، جدایش محلول‌های ماگمایی و تشکیل اسکارن پیش رونده است که با تشکیل کانی‌های بی آب مثل گارنت و کلینوپیروکسن و شروع کانه‌زایی رخ می‌دهد. در این مرحله و پس از تشکیل کانی‌های سیلیکاته بی آب شاخص همچون گارنت (آندرادیت و گروسولار) و کلینوپیروکسن در ابتدای این مرحله، مقادیر زیاد ماگنتیت و به میزان کمتر سولفیدهای فلزی یعنی پیریت، نسل اول کالکوپیریت و بورنیت شروع به ته نشست کرده‌اند. و فشار فاز سیال امکان پخش و نفوذ سیالات در سنگ‌های پیرامون را فراهم می‌کند. در مرحله دوم کانی‌های تشکیل شده در مرحله اول در برخورد با آب‌های جوی با دمای کمتر به کانی‌های ثانویه آبدار مثل کلریت و اپیدوت تبدیل می‌شوند که به مرحله پس رونده معروف است (تایلور و لیو، ۱۹۷۸). عده‌ای از پژوهشگران تشکیل کلریت، فرواکتینولیت، اپیدوت و کلسیت در این مرحله را در اثر واکنش‌های قهقراپی در مرحله اسکارن پس رونده می‌دانند (زاهدی و بومری، ۱۳۹۳).

اسکارن گارنتی - اپیدوتی

در مرز بین توده گرانیتی با سنگ‌های کربناته یک افق اسکارن گارنت - اپیدوت - ماگنتیت‌دار به رنگ

میکرودیوریتی و رگه‌های سیلیسی در داخل آن مشاهده می‌شود. با توجه به مطالعات میکروسکوپی این نمونه‌ها دارای بافت گرانوبلاستیک می‌باشند. کانی‌های اصلی در آن شامل کلسیت، اپیدوت، گارنت و بعضاً کوارتز، آمفیبول و آکتینولیت است. بلورهای کلسیت با دو دسته رخ کامل در نمونه‌ها دیده می‌شوند. کانی‌های اپاک زیر ۱ درصد از متن سنگ را به خود اختصاص داده‌اند.

دگرسانی‌ها

دگرسانی سیلیسی

رگچه‌های سیلیسی در توده گرانیتی و در برخی موارد در شیبست و مرمهرهای زون کانه‌زایی نفوذ کرده‌اند که به نظر حاصل فعالیت‌های مراحل پایانی محلول‌های گرمابی می‌باشد. این رگه‌ها به رنگ سفید و بسیار مقاوم بوده و بافت آن‌ها آفانیتیک است.

اسکارنی شدن

اسکارنی شدن پدیده غالب در زون اسکارن می‌باشد که به شکل ایجاد کانی‌های گارنت و اکتینولیت و مرمری شدن در کانی‌های کربناته سنگ اولیه حادث شده است. وجود گارنت فراوان از خصوصیات سنگ‌های اسکارنی مزرعه می‌باشد. ایجاد گارنت فراوان در بیشتر کانسارهای اسکارن دنیا هم در سنگ کربناته میزبان و هم در توده نفوذی دیده می‌شود (Meinert, 1992; Meinet et al, 2005; Karimzadeh and Moayyed, 2002) اسکارنی شدن در کانسار مزرعه با توجه به وجود گارنت‌های کلسیم‌دار آندرادیت و گروسولار یک اسکارن کلسیمی می‌باشد (Einaudi, 1981). با پیشرفت متاسوماتیسم و افزایش میزان Si, Al, Fe و Mg در سنگ میزبان، کلسیت‌های سنگ میزبان به گارنت تبدیل می‌شوند (شهاب پور، ۱۳۸۰). Al لازم برای تشکیل گارنت نوع گروسولار می‌تواند از سنگ‌های آهکی مارنی میزبان که مقداری اکسید آلومینیوم

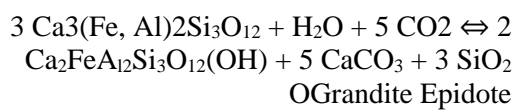
قهوه‌ای به صورت نوار باریک و طولی به ضخامت ۲۰ تا ۳۰ متر در سراسر حاشیه شمالی گرانیت گسترش دارد که مرز آن با توده گرانیتی یک گسل معکوس می‌باشد. در نمونه‌های دستی رنگ سبز روشن تا قهوه‌ای دارد و گارنت، اپیدوت، کلریت در متن سنگ با چشم غیرمسلح دیده می‌شود است. گارنت‌ها به صورت پراکنده و شکل‌دار و یا تجمعی و توده‌ای در متن سنگ مشاهده می‌شوند. براساس نتایج تجزیه با دستگاه XRD گارنت‌ها از نوع آلومینیوم و آهن‌دار یعنی آندرادیت و گروسولار می‌باشند. تشکیل توامان آندرادیت و گروسولار می‌تواند در نتیجه کاهش فشار بر سامانه گرمابی و در نتیجه جوشش گرمابی رخ دهد. پدیده جوشش می‌تواند موجب بالا رفتن فوگاسیته اکسیژن و رشد گارنت آندرادیت و در فواصل بین دوره‌های جوشش و در هنگام کم شدن فوگاسیته اکسیژن باعث تشکیل گارنت نوع گروسولار شود (تقی پور و مکی زاده، ۱۳۹۰). زون اسکارن با توده گرانیتی و شیبست و مرمهر هم مرز می‌باشد. از نظر میکروسکوپی این سنگ‌ها بافت گرانوبلاستیک تا کریپتوکریستالین دارند. کانی‌های اصلی شامل گارنت، اپیدوت، آکتینولیت، کلریت، فلدسپار و سربیسیت می‌باشند. در برخی از انواع این سنگ‌ها آمفیبول، بیوتیت، کلینوپیروکسن و کوارتز نیز مشاهده می‌شود. کانی‌های اپاک معمولاً تا ۱۰ درصد از متن سنگ را تشکیل می‌دهد. کانه‌زایی اپاک در سراسر متن سنگ به صورت پراکنده دیده می‌شود. در نمونه‌های ریزبلور که به نظر شدیدتر تحت‌تاثیر دگرسانی بوده‌اند حجم کانی‌های اپاک بیشتر است.

اسکارن مرمری

اسکارن گارنت - اپیدوتیتی در فواصل بیشتر از توده گرانیتی به تدریج به واحد مرمری - اپیدوتیتی روشن رنگ تبدیل می‌شود. روند عمومی آن‌ها شرقی - غربی است. دایک‌های گرانیتی، دیوریت -

اپیدوت ناشی از این دگرسانی در نمونه‌ها بسیار فراوان و در مقیاس میکروسکوپی نیز قابل تشخیص است. این دگرسانی نیز بر اثر افزایش CO_2 و H_2O و متاسوماتیسم یون H^+ در محیط انجام می‌پذیرد (Pirajno, 2009). در محل شکستگی‌ها و در مناطقی که محلول‌های گرمابی غنی از CO_2 و H_2O حضور دارند اپیدوت می‌تواند در نتیجه ناپایداری گارنت توسط واکنش رابطه ۲ تشکیل شود (Perkins et al, 1976; Bermen et al, 1988):

رابطه ۲)



دگرسانی کلریتی

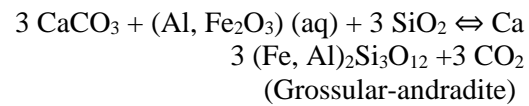
دگرسانی کلریتی از دگرسانی‌های شاخص زون کانه‌زایی می‌باشد که به شکل گسترده‌ای در اسکارن گارنت‌دار ایجاد شده است. کلریت کانی شاخص این دگرسانی است که به میزان زیاد در نمونه‌ها و در مجاورت کانه‌ها دیده می‌شود. نتایج تجزیه با دستگاه XRD وجود کلریت در اکثر نمونه‌های پر عیار مناطق کانه‌زایی را تایید می‌کند. کلریت از تبدیل کانی‌های مافیک به ویژه پیروکسن بر اثر افزایش Fe و Mg محیط به وجود آمده است (شهاب پور، ۱۳۸۰). در این دگرسانی نسبت سیال به سنگ کم است و تمایل به ایزوشیمیایی بودن دارد و در پاسخ به متاسوماتیسم یون H تشکیل می‌شود (Ulrich and Heinrich, 2002).

دگرسانی هماتیتی

این دگرسانی در زون کانه‌زا و به ویژه در سنگ‌های اسکارن گارنت‌دار ایجاد شده است و طی آن ماگنتیت بر اثر فرآیند آبپوشی ناشی از عبور سیالات گرمابی به هماتیت و سپس در اثر هوازدگی به اکسید آهن آبدار یعنی گوتیت تبدیل شده‌اند. گوتیت و هماتیت (اسپیکولاریت) به شکل شاخص و

نیز در ترکیب خود دارند تامین شود. واکنش‌های شیمیایی تشکیل گارنت نوع آندرادیت و گروسولار را می‌توان به صورت رابطه ۱ شکل نشان داد (Deer et al, 1991, Tray and Frost, 1991):

رابطه ۱)



کریم زاده تشکیل گارنت و آندرادیت در طی فرآیند اسکارنی شدن را ناشی از واکنش شیمیایی بین فلدسپارهای آلکالن و آب و کمپلکس‌های کلرید فلزی رها شده از ماگما می‌داند (Karimzadeh, 2008).

دگرسانی سریسیتی

این دگرسانی در مناطق تحت‌تاثیر ریز گسل‌ها و نیز واجد سیستم درزه در توده گرانیتهای اتفاق افتاده است و فلدسپارهای این بخش‌ها به کانی سریسیت تبدیل شده‌اند. افزایش آب محیط و کاهش عناصر قلیایی عامل اصلی این دگرسانی است (شهاب پور، ۱۳۸۰). در زون کانه‌زایی نیز تاثیر دگرسانی سریسیتی در بخش اسکارن گارنتی اپیدوتی مشخص می‌باشد.

دگرسانی آرژیلیک(رسی)

این دگرسانی عمدتاً در مناطق گسله توده نفوذی گرانیتهای و گرانودیوریتی که تحت‌تاثیر سیالات گرمابی قرار گرفته‌اند دیده می‌شود و در زون کانه‌زا قابل مشاهده نیست. کانی‌های عمده ناشی از این دگرسانی در منطقه براساس نتایج تجزیه با دستگاه XRD از نمونه‌های توده نفوذی دگرسان شده، کائولینیت و ایلیت می‌باشند که بر اثر تبدیل پلاژیوکلازها به رس ایجاد شده‌اند.

دگرسانی اپیدوتی

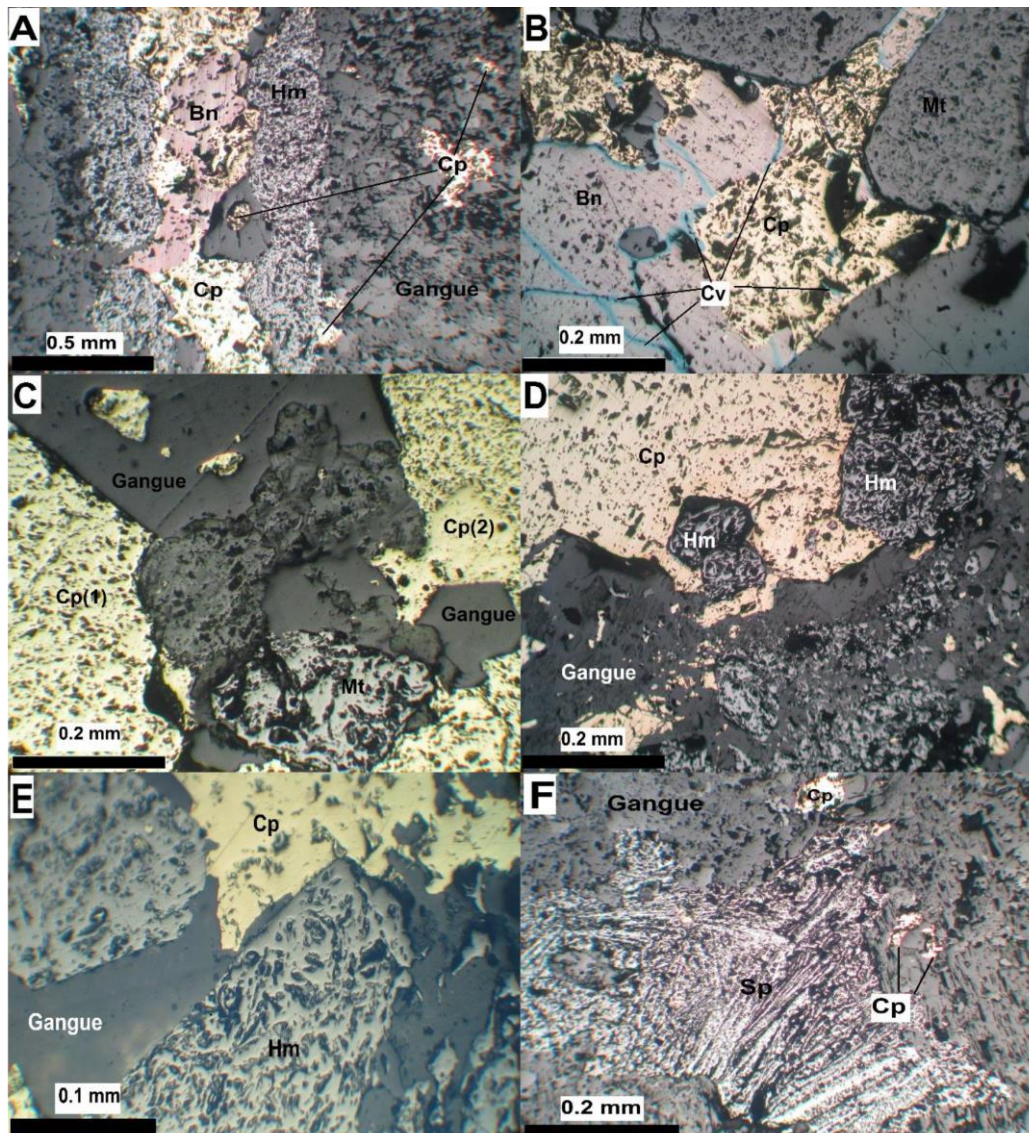
از دگرسانی‌های مهم زون اسکارنی، دگرسانی اپیدوتی می‌باشد که هم در زون اسکارن گارنت‌دار و هم در زون اسکارن مرمری مشاهده می‌شود.

یه صورت تیغه‌های تیپیک در نمونه‌های زون اسکارن دیده می‌شوند.

کانه‌نگاری

۲۴ نمونه از زون‌های کانی‌سازی شده برای مطالعات مقاطع صیقلی استفاده شد. بررسی کانن‌نگاری نشان داد که کانن‌های فلزی شامل پیریت، کالکوپیریت، بورنیت، کولیت، ماگنتیت، هماتیت و گوتیت می‌باشد. در بسیاری از نمونه‌ها پاراژنز غالب کالکوپیریت و ماگنتیت می‌باشد. دو نسل متفاوت کالکوپیریت قابل تشخیص می‌باشد. کالکو پیریت‌ها به دو شکل در نمونه‌ها دیده می‌شوند. یک دسته کاملاً سالم و بدون شکستگی داخلی دیده می‌شوند و سری دیگر با شکستگی‌های داخلی فراوان مشخص می‌باشند. در یک نمونه وجود رگچه‌های مستقل کالکو پیریت که مجموعه کانیایی ماگنتیت، کالکوپیریت و بورنیت را قطع می‌کند نشانگر فاز مستقل منحصر به کالکوپیریت است که نسبتاً به فاز فلزی اولیه دیرزاد می‌باشد. پیریت به میزان بسیار کم در نمونه‌ها دیده می‌شود. بورنیت نیز به صورت همزاد با کالکوپیریت نسل اول و پیریت دیده می‌شود هم کالکوپیریت نسل اول و هم بورنیت معمولاً در حاشیه توسط کوولیت جانشین شده‌اند. گوتیت و هماتیت تیغه‌ای شکل (اسپکولاریت) که حاصل تجزیه سولفیدهای اولیه مس و ماگنتیت می‌باشند نیز به وفور در نمونه‌ها دیده می‌شوند. برای تشکیل این حجم از گوتیت و هماتیت در این مرحله افزایش میزان فوگاسیته اکسیژن لازم است و این اکسیژن توسط چرخش آب‌های جوی و یا ماگمایی در زون‌های شکسته و خرد شده تامین می‌شود (Haynes et al,)

(1995). دلیل ایجاد شکستگی و خرد شدگی در سنگ‌ها نیز احتمالاً فشار ناشی از صعود ماگما می‌باشد. در بسیاری از موارد پاراژنز فلزی کاملاً تحت-تاثیر سیالات بعد از کانن‌زایی شکسته و خرد شده-اند. کالکو پیریت بر این اساس کاملاً تحت‌تاثیر وقایع بعد از کانن‌زایی قرار گرفته و در بسیاری مواقع شکستگی‌هایش توسط گانگ دیرزاد که شامل کلسیت و کوارتز می‌باشد پر شده است. در کانسار مزرعه قسمت عمده کانن‌زایی شامل ماگنتیت، هماتیت و سولفیدهای فلزی پیریت، نسل اول کالکوپیریت و بورنیت در مرحله اسکارن پس رونده و همراه با دگرسانی‌های عمده کلریتی و اپیدوتی تشکیل شده است. مطالعات گسترده کانی‌شناسی در کانسارهای اسکارن مشابه در نقاط مختلف دنیا بیانگر تشکیل حجم اصلی ماده معدنی در این مرحله و به دلیل افزایش فوگاسیته اکسیژن در اثر اختلاط با سیال‌های جوی است (Duan et al, 2014; Lingang et al, 2010; Pons and Franchini, 2009). به نظر می‌رسد در اواخر این مرحله با چرخش مجدد سیالات گرمایی در اسکارن نسل دوم کالکوپیریت ایجاد شده است و هم چنین با تجزیه سولفیدهای اولیه روند جانشینی توسط کوولیت نیز آغاز شده است. هم چنین در پایان این فاز رگه و رگچه‌های عقیم از نظر کانن‌زایی شامل کوارتز و کلسیت کل مجموعه کانن‌زایی را تحت‌تاثیر قرار داده‌اند. در فاز سوپرژن نیز علاوه بر ادامه تشکیل کوولیت، اکسید مس (مالاکیت) و هیدروکسید آهن (گوتیت) تشکیل شده‌اند (شکل ۴ و ۵).



شکل ۴: A: نمایی از پاراژنز کالکوپیریت نسل اول، بورنیت و هماتیت در یک نمونه اسکارن گارنت دار. گانگ (فاز کوارتز-کلسیت) مربوط به فاز دیرزاد در حال پوشانیدن سولفیدهای فلزی اولیه می‌باشد و بقایای کالکوپیریت در آن مشخص است. B: نمایی از پاراژنز فلزی در یک اسکارن گارنت دار شامل ماگنتیت، کالکوپیریت و بورنیت که کولیت به عنوان فاز جوان تر در حال جانشینی بورنیت و کالکوپیریت از حاشیه و شکستگی‌های این کانی‌هاست. C: نمایی از بلورهای ماگنتیت و دو نسل کالکوپیریت Cp(1) و Cp(2) در هورنفلس که نسل دوم با شکستگی‌های داخلی کمتر مشخص می‌باشد. گانگ (فاز کوارتز-کلسیت) مربوط با فاز آخر سیالات گرمایی نیز در حال جانشینی مجموعه کانی‌های فلزی است. D: نمایی از پاراژنز ماگنتیت و کالکوپیریت در یک نمونه اسکارن مرمری که کانی‌های فلزی در حال جانشینی توسط گانگ (فاز کوارتز-کلسیت) می‌باشند. بقایای هماتیت و کالکوپیریت در فاز گانگ مشاهده می‌شود. E: گانگ کوارتز-کلسیتی در حال پرکردن فضای شکستگی‌های بین کالکوپیریت و هماتیت می‌باشد. F: نمایی از هماتیت تیغه‌ای (اسپکولاریت) در اسکارن گارنت دار. گانگ کوارتز کلسیتی نیز در حال جانشینی مجموعه فلزی است. Cp: کالکوپیریت، Bn: بورنیت، Cv: کولیت، Mt: ماگنتیت، Hm: هماتیت، Mt: اسپکولاریت).

Stages Mineral	Prograde Skarn	Retrograde Skarn	Supergene
Garnet	██████████		
Hornblende		██████████	
Sericite		██████████	
Chlorite		██████████	
Epidote	██████████	██████████	
Kaolinite		██████████	
Magnetite	██████████	██████████	
Hematite		██████████	
Goethite			██████████
Pyrite	██████████	██████████	
Chalcopyrite	██████████	██████████	
Bornite	██████████	██████████	
Covellite			██████████
Malachite			██████████

شکل ۵: توالی پارازنتیکی کانی‌های فلزی و غیر فلزی کانسار مزرعه

ژئوشیمی

توده نفوذی

می‌گیرند. افرادی چون (علوی، ۱۳۹۴) و (ملائی، ۱۳۹۰) نیز توده گرانیتوئیدی شیورداغ را متألومینه می‌دانند. هم‌چنین بر روی نمودار (Irvin and Baragar, 1989) نمونه‌ها در محدوده نیمه آکالین و در نمودار کل نمونه‌ها در محدوده سنگ‌های کلسیک قرار گرفته‌اند. براساس نمودار Na_2O در مقابل K_2O (Chappel and White, 1974) نمونه در محدوده گرانیت‌های تیپ S و یک نمونه در محدوده تیپ I قرار می‌گیرند (شکل ۷). ملایی (۱۳۹۰) نیز توده گرانیتوئیدی مزرعه را از نوع I می‌داند.

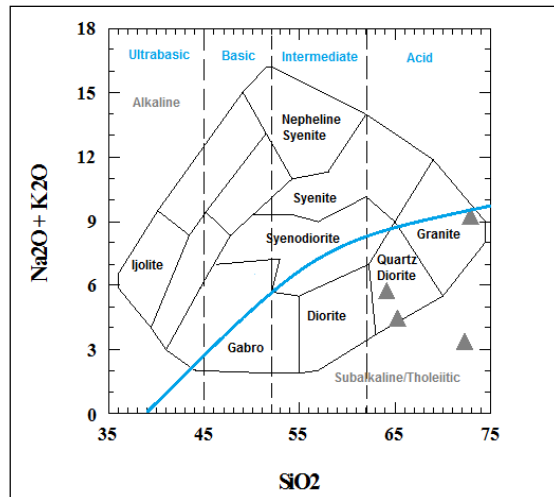
نتایج تجزیه شیمیایی اکسیدهای اصلی مربوط به ۴ نمونه توده گرانیتوئیدی و عناصر فرعی ۳ نمونه از توده گرانیتوئیدی به روش ICP-MS در جداول ۱ و ۲ ارائه می‌شود. براساس نتایج بدست آمده درصد SiO_2 این نمونه‌ها بین ۶۴/۰۵ و ۷۲/۷۹ درصد تغییر می‌کند. سنگ‌های گرانیتوئیدی براساس نمودار کاکس (Cox, 1979) در محدوده گرانیت و کوارتز دیوریت قرار می‌گیرند (شکل ۶). نمونه‌های مورد بررسی از لحاظ شاخص اشباع از آلومین و براساس نمودار (Maniar and Piccoli, 1989) عمدتاً در بخش متا آلومینه و پراآلومینه قرار

جدول ۱: مقادیر عناصر اصلی نمونه‌های گرانیتوئیدی (مقادیر به درصد می‌باشند)

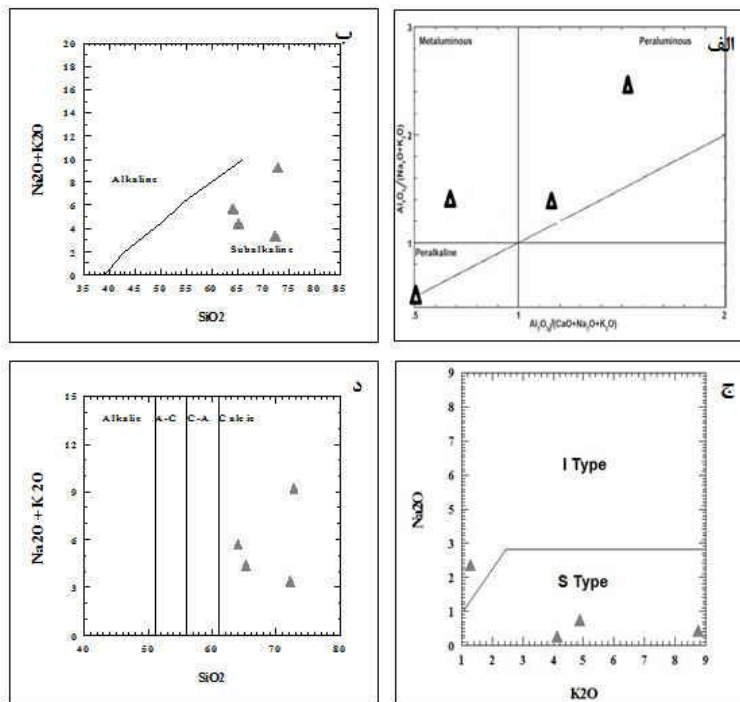
Sample No	SiO2	TiO2	Al2O3	Fe2O3	MnO	MgO	CaO	Na2O	K2O	P2O5	S	LOI	Total
Granite 1	72.79	0.211	12.53	2.13	0.092	0.56	1.59	0.49	8.75	0.01	0.045	0.7	99.90
Granite 2	65.2	0.18	2.61	11.3	0.14	1.1	7.6	0.31	4.13	0.07	3.12	3.59	99.35
Granite 3	72.23	0.99	5.37	10.13	0.069	1.68	4.16	2.64	1.29	0.077	0.889	0.61	100.13
Granite 4	64.05	0.352	14.42	3.97	0.152	0.59	4.08	0.86	4.86	0.097	0.868	5.62	99.92

جدول ۲: مقادیر عناصر فرعی نمونه‌های گرانیتوئیدی (مقادیر طلا به ppb و دیگر عناصر به ppm می‌باشد).

Sample No	Se	Li	Ti	Sb	P	Zn	Ni	V	Sc	Ce	Y	Nb	Zr	U	Th	Pb	Sr	Rb	Ba	Cu	Ag	Au
Granite 5	76.4	4	1728	3.1	552	73	16	75	2.6	127	10.5	5.2	51	7.2	3.18	10	90	37	120	6230	6.5	1433
Granite 6	12.09	2	9737	0.8	765	73	38	216	23.9	40	24.3	3.1	29	3.8	3.76	30	189	19	65	12210	1.9	3139
Granite 7	41	4	6145	2.2	632	48	2	9	5.5	53	15	13	57	1.8	11.8	27	94	101	552	38	0.05	2.6



شکل ۶: موقعیت نمونه‌ها بر روی نمودار کاکس (Cox, 1979)



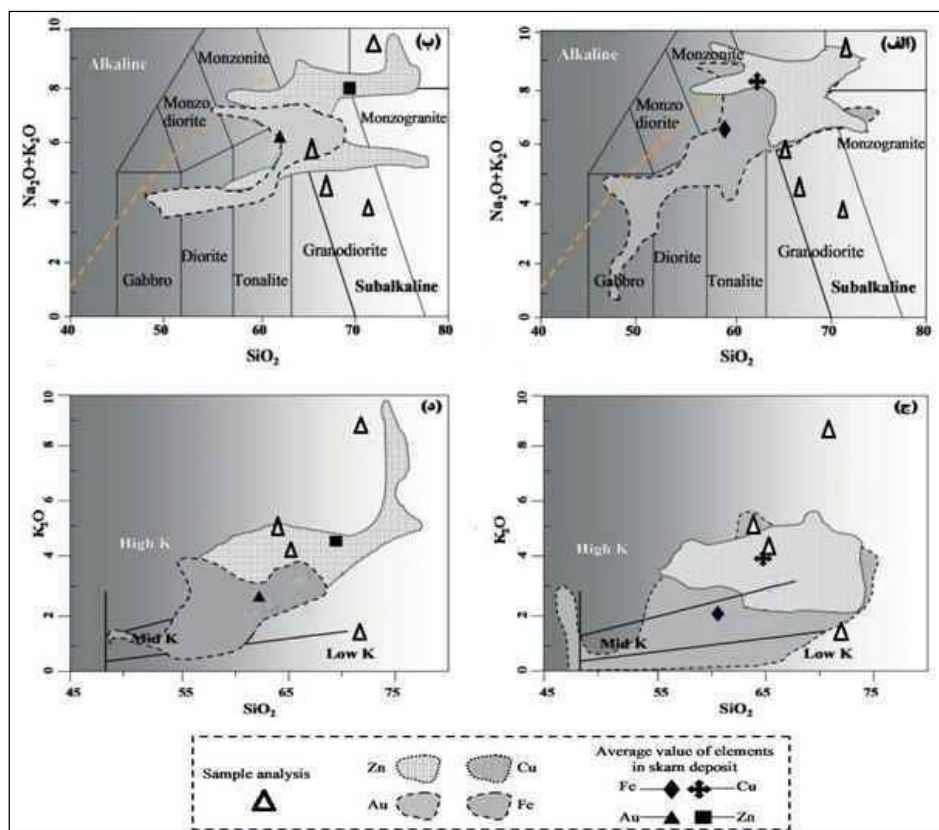
شکل ۷: الف: نمودار $A/CNK - A/NK$ که نمونه‌ها عمدتاً در قسمت پر آلومینه و متا آلومینه قرار می‌گیرند. ب: نمودار Na_2O و K_2O در مقابل SiO_2 اقتباس از (Irvin and Baragar, 1989) که در آن نمونه‌ها در محدوده ساب آلکان قرار می‌گیرند. ج: نمودار K_2O در مقابل Na_2O (Chappel and White, 1974) برای تفکیک گرانیت‌ها، که نمونه‌ها عمدتاً در بخش گرانیت‌های نوع S قرار می‌گیرند. د: نمودار Na_2O و K_2O در مقابل SiO_2 که نمونه‌ها جزو نمونه‌های کلسیک محسوب می‌شوند.

اسکارن و توده‌های نفوذی همراه، ارتباط تنگاتنگی وجود دارد و براساس این پژوهش‌ها هر نوع اسکارن متناظر با ترکیب شیمیایی خاصی از توده نفوذی است (مهرابی و دیگران، ۱۳۹۰). ویژگی‌های توده

براساس مطالعات (Meinert, 1995; Meinert et al, 1990; Newberry et al, 1990) توده‌های نفوذی نقش بسزایی در تشکیل اسکارن و تأمین مواد معدنی دارند، به گونه‌ای که بین کانسارهای

طلا است (شکل ۸ الف و ب). براساس نمودار SiO_2 در مقابل K_2O سنگ‌های آذرین منطقه به جز یک نمونه در محدوده سنگ‌های دارای پتاسیم بالا قرار گرفته‌اند که متعلق به توده‌های نفوذی مولد اسکارن‌های مس - آهن و روی می‌باشند (شکل ۸ ج و د). هیچ نمونه‌ای در این نمودار در محدوده اسکارن‌های طلا جای نگرفته است. در کل، نمونه‌ها بیشترین نزدیکی را به گرانیتوئیدهای مولد اسکارن مس نشان می‌دهند.

گرانیتوئیدی مزرعه از نظر اکسیدهای اصلی مانند CaO , K_2O , Al_2O_3 , Na_2O , SiO_2 , MgO , FeO همخوانی مناسبی با توده‌های نفوذی مولد اسکارن مس - آهن و طلا نشان می‌دهد (شکل ۸). در نمودار SiO_2 در برابر $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ (Middlemost, 1994) سنگ‌های منطقه در محدوده گرانودیوریت با ماهیت نیمه قلیایی قرار گرفته‌اند که بر این اساس بیشتر نمونه‌ها منطبق و یا در نزدیکی محدوده پلوتون‌های بارور مرتبط با اسکارن مس - آهن و



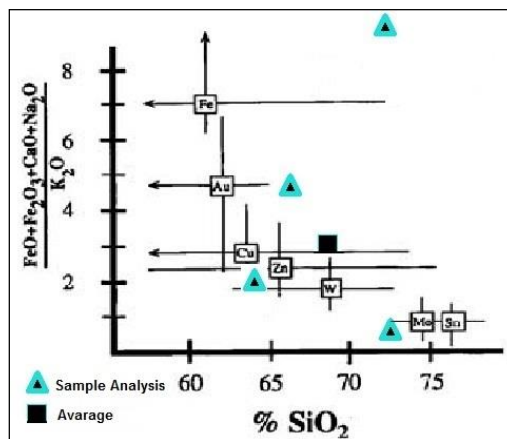
شکل ۸: الف و ب: سنگ‌های منطقه در محدوده گرانودیوریت با ماهیت نیمه قلیایی، مرتبط با پلوتون‌های بارور مس - آهن و طلا قرار دارند (Middlemost, 1994). ج و د: سنگ‌های منطقه در محدوده سنگ‌های پتاسیمی بالا مرتبط با اسکارن‌های مس، آهن و روی قرار دارند.

ذخایر اسکارن دارای پراکنش زیادی می‌باشند. این موضوع می‌تواند به علت تفریق توده نفوذی منطقه و ترکیب گرانیتی اولیه آن در قسمت‌های مختلف باشد (شهبازی و دیگران، ۱۳۹۳) (شکل ۹). در این نمودار سه نمونه در محدوده توده‌های نفوذی مولد

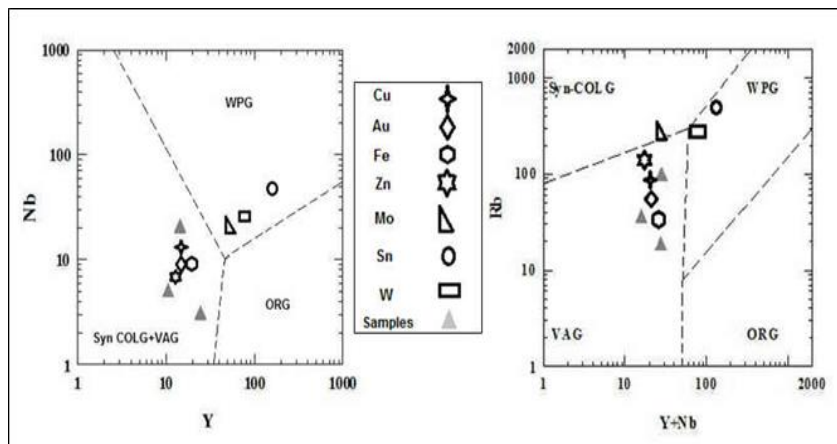
در بیشتر کانسارهای اسکارن مرتبط با فعالیت‌های آذرین، تطابق معناداری میان ترکیب توده نفوذی و نوع ذخیره اسکارن وجود دارد (Meinert et al, 1990). نمونه‌های سنگ گرانیتوئیدی مزرعه در نمودار مربوط به ارتباط ترکیب توده‌های نفوذی و

از نسبت مقادیر عناصر کمیاب Y, Nb, Rb می‌توان موقعیت ژئوزمین ساختی توده نفوذی مولد انواع اسکارن را در نمودارهای Nb/Y و Rb/(Y+Nb) به دست آورد (Meinert et al, 1995). توده نفوذی منطقه مزرعه مانند دیگر توده‌های مولد ذخایر اسکارن Cu, Fe, Au, Zn در محدوده کمان آتش فشانی واقع شده است (شکل ۱۰).

اسکارن مس و طلا و مولیبدن قرار می‌گیرند و یک نمونه دورتر از محدوده نفوذی‌های مولد قرار می‌گیرد که احتمالاً مربوط به فاز گرانیتوئیدی عقیم از نظر کانه‌زایی می‌باشد. میانگین مقادیر اکسیدها و سیلیس نمونه‌ها نیز محاسبه گردید و بر این اساس میانگین نمونه‌ها بسیار نزدیک به محدوده نفوذی-های مولد اسکارن مس، روی قرار دارد. با استفاده



شکل ۹: ارتباط میان ترکیب توده نفوذی و انواع ذخایر اسکارن (Meinert et al, 1990).



شکل ۱۰: موقعیت ژئوتکتونیک نمونه‌های توده نفوذی مزرعه و مقایسه آن با انواع دیگر توده‌های نفوذی مولد ذخایر اسکارن در نمودارهای Nb/Y و Rb/(Y+Nb) (Meinert et al, 1995).

و مقادیر طلا به روش جذب اتمی اندازه‌گیری شد. ۶ نمونه نیز مورد تجزیه عناصر اصلی به روش XRF قرار گرفتند. نتایج تجزیه این عناصر در جداول ۳، ۴ و ۵ آمده است.

زون کانه‌زایی

برای بررسی‌های ژئوشیمیایی زون کانه‌زایی تعداد ۱۵ نمونه از زون کانه‌زایی شده از واحد اسکارن گارنت‌دار که زون اصلی کانه‌زایی می‌باشد، مورد تجزیه عناصر فرعی به روش ICP-MS قرار گرفتند

جدول ۳: نتایج تجزیه عناصر اصلی نمونه‌های زون کانه‌زایی در محدوده مزرعه (مقادیر به درصد می‌باشند).

Sample No	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	S	LOI	Total
Skarn 2	7.69	0.183	2.15	82.65	0.181	2.21	1.28	0.05	0.03	0.017	1.754	1.08	99.27
Skarn 8	22.01	0.31	5.98	51.62	0.229	4.88	9.98	0.39	0.51	0.084	2.652	0.85	99.49
Skarn 10	24.15	0.349	5.41	50.12	0.254	1.96	11.56	0.06	0.06	0.039	1.013	5.27	100.24
Skarn 11	44.02	1.905	13.46	10.42	0.312	2.68	19.19	2.53	0.57	0.281	0.966	2.52	98.854
Skarn 12	47.25	0.686	13.59	12.95	0.304	3.99	16.98	0.96	0.32	0.09	0.778	1.22	99.118
Skarn 14	67.48	0.299	15.08	2.57	0.132	0.53	2.64	0.69	5.23	0.128	0.688	3.86	99.327

جدول ۴: نتایج تجزیه عناصر فرعی نمونه‌های زون کانه‌زا در محدوده مزرعه (بر حسب ppm و طلا بر حسب ppb)

Sample No	Mo	W	Sn	Cd	Bi	Zn	Pb	Cu	V	Co	Ni	U	Th	Y	Zr	Nb	Li	Sb	Se	As
Skarn 1	13.3	372	2.6	0.6	49.5	187	21	59000	31	807	23	2	1.41	1	23	2.4	9	2	23.4	42.5
Skarn 2	1.1	23	2.9	0.3	358	101	23	36440	30	94.6	42	2.9	0.87	2.6	30	1.7	8	2.8	10	6.1
Skarn 3	0.6	2.7	10.6	0.3	133	53	9	41843	69	36	42	10.3	10	3.2	144	4.8	9	6.3	29.1	15.6
Skarn 4	2.4	1.3	4	17	0.6	76	14	223	57	32.2	58	5.4	4.62	3.6	93	2.9	13	1.9	<0.5	3.5
Skarn 5	2.1	2.7	11.5	1.2	28.6	51	8	5168	45	58	13	2.7	3.23	4.3	25	10.7	7	4.1	4.86	3.2
Skarn 6	0.7	13.4	19.7	2.3	7	113	8	33002	21	84.6	60	14.7	1.88	5.3	195	7.2	5	4.9	10	2.4
Skarn 7	2.5	8	2.7	7.6	36	42	11	22537	67	22.9	30	5.88	4.13	12.1	95	8.7	1	1.3	4.81	2.6
Skarn 8	0.3	2.1	9.7	17.2	134	95	10	19514	43	63.3	45	2	1.7	7.5	63	4.5	10	5.6	9.79	12.2
Skarn 9	0.8	2.6	2.9	0.5	78.9	91	37	13083	94	10.7	9	2.7	2.4	21.6	195	8.6	7	1.7	5.48	10
Skarn 10	0.2	2.1	5.5	2.6	111	52	8	8789	47	43.8	19	5.5	4.93	13.9	53	8.9	9	12.3	3.92	4.6
Skarn 11	8.3	12.1	8.1	1.2	8.9	40	7	13914	252	21.7	11	4.9	5.67	22.9	131	12.6	10	1.8	4.43	18.6
Skarn 12	8.7	12.1	10.2	0.3	72.9	83	8	9801	81	25.1	14	5.4	9.34	19.1	90	18.1	11	3.4	3.08	15.7
Skarn 13	0.6	6.7	15.1	0.1	262	63	7	16983	64	44.5	21	6.32	7.3	14.7	96	8.3	9	4.4	8	8.8
Skarn 14	2.9	17.9	2.4	0.6	2	46	16	2938	42	13.5	8	8.2	27	11.5	8	18.9	4	2.5	1.28	0.1
Skarn 15	1.9	4	4.7	13.6	1.7	69	13	3747	109	19.6	49	1	11	21	11	21.8	21	2.4	2.61	2.7

۹/۹۴ می‌باشد. در بین دیگر عناصر فلزی تنها بیسموت و کبالت در چند نمونه مقادیر نسبتاً بالایی را نشان می‌دهند. برای بررسی همبستگی میان عناصر کانساز با یکدیگر از ماتریس همبستگی رتبه‌ای اسپیرمن - پیرسون استفاده و مقادیر همبستگی بین عناصر محاسبه گردید که نتایج آن در جدول ۶ آورده شده است. هم چنین نمودارهای دو تایی عناصر مهم زون کانه‌زایی در شکل ۱۱ آمده است.

مقادیر مس در نمونه‌ها از بیش از ۵ درصد تا ۲۲۳ ppm متغیر است و میانگین آن ۱۶۲۸۴ ppm می‌باشد. میانگین مقادیر اکسید آهن ۳۵/۰۵ درصد می‌باشد. طلا پراکنش گسترده‌ای در نمونه‌ها دارد و مقادیر آن از ۲۹ ppb تا بیش از ۱ ppm متغیر است. دو نمونه بیش از ۱ ppm و ۳ نمونه نزدیک به ۱ ppm طلا دارند. میانگین طلای نمونه‌ها ۳۳۸۰ ppm می‌باشد. مقادیر نقره نسبتاً پراکنش محدودتری دارد و به جز ۳ نمونه مابقی مقادیر نزدیک به هم دارند. میانگین مقادیر نقره ppm

جدول ۵: ضرایب همبستگی رتبه‌ای اسپیرمن - پیرسون برای عناصر مهم زون کانه‌زایی در محدوده مزرعه

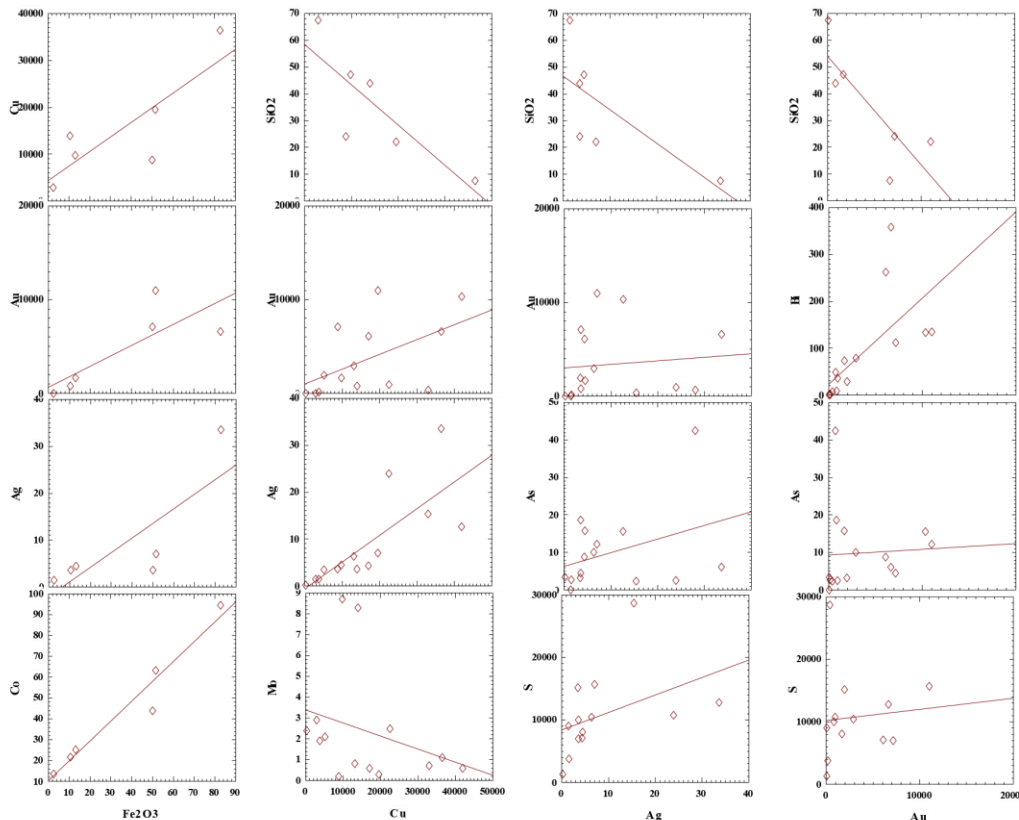
	Fe ₂ O ₃	Cu	Au	Ag	S	As	Sb	Se	Bi	Sn	Cd	Mo	W	Pb	Ni	Zn	Co	Zr	MnO
Fe ₂ O ₃	1	0.82	0.80	0.79	0.50	-0.23	0.34	0.86	0.92	-0.24	0.27	-0.71	0.009	0.52	0.86	0.66	0.97	-0.32	-0.23
Cu		1	0.52	0.77	0.78	0.28	0.12	0.82	0.52	0.33	-0.30	-0.29	0.26	-0.002	0.37	0.32	0.49	0.42	-0.12
Au			1	0.10	0.09	0.05	0.61	0.42	0.67	0.18	0.02	-0.45	-0.20	-0.10	0.12	-0.07	-0.14	0.04	-0.07
Ag				1	0.41	0.35	-0.19	0.51	0.43	-0.19	-0.25	0.20	0.50	0.29	0.21	0.54	0.53	-0.04	-0.31
S					1	-0.06	0.11	0.61	0.001	0.21	-0.25	-0.21	0.21	-0.10	0.21	0.47	0.56	0.40	-0.24
As						1	-0.14	0.61	0.02	-0.11	-0.24	0.79	0.83	0.16	-0.21	0.66	0.82	-0.02	0.87
Sb							1	0.09	0.22	0.31	-0.08	-0.39	-0.20	-0.40	0.03	-0.17	-0.14	-0.20	0.11
Se								1	0.24	0.11	-0.18	0.16	0.51	0.06	0.36	0.48	0.52	0.16	-0.12
Bi									1	0.05	-0.25	-0.30	-0.07	0.14	0.04	0.10	-0.02	-0.08	-0.27
Sn										1	-0.16	-0.22	-0.26	-0.59	0.22	-0.04	-0.20	0.44	0.80
Cd											1	-0.24	-0.19	-0.12	0.61	-0.03	-0.16	-0.17	-0.01
Mo												1	0.74	0.02	-0.35	0.47	0.68	-0.19	0.63
W													1	0.26	-0.10	0.80	0.99	-0.28	-0.44
Pb														1	-0.15	0.41	0.23	0.10	-0.78
Ni															1	0.23	-0.03	0.12	-0.21
Zn																1	0.83	-0.03	-0.11
Co																	1	-0.27	-0.25
Zr																		1	0.93
MnO																			1

بالایی را نشان می‌دهد. هم چنین همبستگی بالایی با عناصر فلزی بیسموت، نیکل و کبالت دارد و

بر این اساس، اکسید آهن تقریباً با تمام عناصر کانساز از جمله مس و طلا و نقره همبستگی مثبت

قبیل طلا و نقره دارای همبستگی نیست و این می-تواند دلیل عدم مشاهده سولفیدهای فلزات دیگر در مطالعات میکروسکوپی و پاراژنز فلزی نسبتا ساده زون کانه‌زایی باشد. عناصر آرسنیک، کبالت، تنگستن، مولیبدن و روی دارای همبستگی قوی با هم می‌باشند و این نشانگر احتمالی وجود ترکیبات آرسنید فلزی در زون کانه‌زایی می‌باشد که البته در مطالعات میکروسکوپی مشاهده نگردید.

همبستگی منفی قوی با مولیبدن از خود نشان می-دهد. مس علاوه بر همبستگی مثبت قوی‌ای که با سولفور دارد دارای همبستگی مثبت با نقره می‌باشد ولی با طلا همبستگی قوی را نشان نمی‌دهد. طلا و نقره دارای همبستگی نیستند و طلا فقط با عنصر بیسموت دارای همبستگی مثبت قوی می‌باشد. نقره فقط با مس و اکسید آهن دارای همبستگی قوی می‌باشد. سولفور به جز مس با عناصر دیگر از



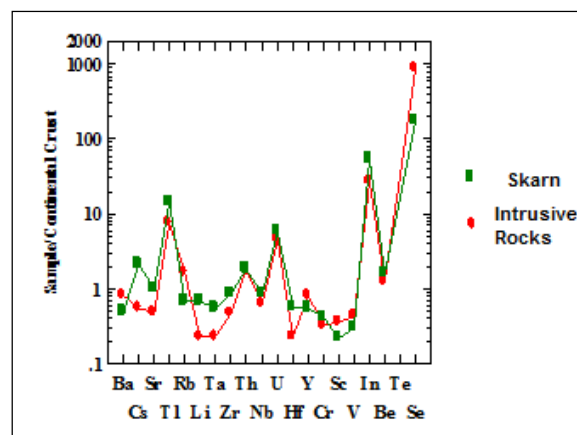
شکل ۱۱: روند تغییرات عناصر مهم زون کانه‌زایی در نمودارهای دو تایی

Cr, Ta در توده گرانیتوئیدی قابل توجه است (شکل ۱۲) که این مقادیر بالای نسبت LILE/HFSE از مشخصه‌های فعالیت‌های آتش‌فشانی مربوط به پهنه‌های فرورانش می‌باشد (Floyd and Winchester, 1975; Wilson, 1989; Zanetti et al, 1999) و می‌تواند نتیجه عوامل بسیاری از جمله آلودگی پسته‌ای یا ورود سیال‌های آبی به درون گوشته و روبش عناصر از آن باشد (Rollinson,)

برای بررسی نقش فرایند اسکارنی شدن در افزایش یا کاهش عناصر فرعی مهم نمودار عنکبوتی ترکیب عناصر فرعی به‌نحی که توسط پسته‌کاره‌ای برای میانگین مقادیر این عناصر در توده نفوذی گرانیتوئیدی و زون اسکارن ترسیم گردید که بر این اساس غنی‌شدگی عناصر لیتوفیل بزرگ یون (LILE) مانند Rb, U, Th و نیز تهی‌شدگی عناصر با شدت میدان بالا (HFSE) مانند Nb, Ta, Hf, Zr

رسوبات پلاژیک و یا پوسته اقیانوسی دگرسان شده به منبع ذوب شدگی باشد (Fan et al, 2003). از طرف دیگر نمودار اسکارن نشانگر تهی شدگی از Ba, Cr, V و غنی شدگی از Cs, Th, U, In, Be می‌باشد. مقادیر Sr, Li, Ta, Cs, Hf در اسکارن به نسبت توده نفوذی افزایش یافته‌اند که این امر نشانگر تاثیر سیالات با منشا پوسته بر توده نفوذی در طی فرایندهای بعدی اسکارن زایی و کانه‌زایی می‌باشد.

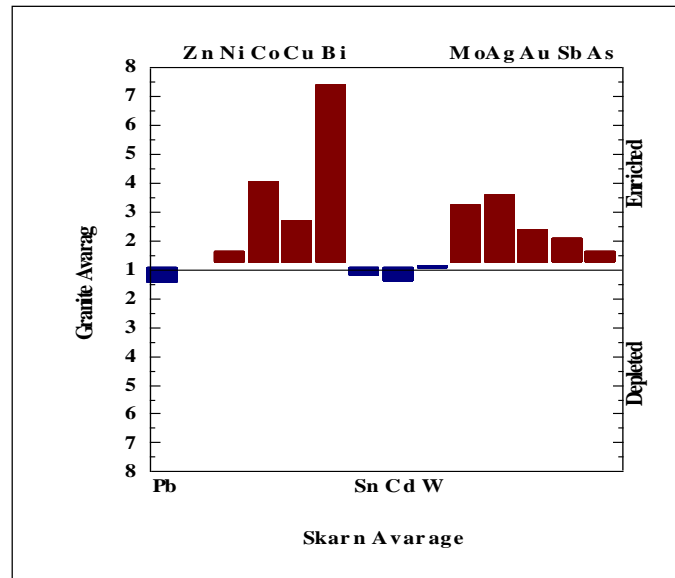
این خصوصیات را می‌توان متعلق به ماگماهای کلسیمی - قلیایی محیط‌های زمین-ساختی فرورانش حاشیه قاره دانست (Mpodozis and Ramos, 2002). آنومالی منفی Sr در نمونه‌ها ناشی از کاهش فراوانی فلدسپار در حین تفریق بلورین است، چرا که Sr به جای Ca و K در شبکه فلدسپار می‌تواند وارد شود (عادل پور و دیگران ۱۳۹۴؛ Wu et al, 2003). غنی شدگی عنصر U در نمودارهای عنکبوتی می‌تواند نشانه افزوده شدن



شکل ۱۲: نمودار مقادیر میانگین عناصر کمیاب بهنجار شده با پوسته قاره‌ای برای نمونه‌های گرانیتوئیدی و اسکارن محدوده کانسار مزرعه (Pearce and Can, 1973).

(شکل ۱۳). به دلیل محتوای نسبتاً بالای عناصر فلزی عمده نظیر Ag, Cu و Au در توده نفوذی مقادیر غنی شدگی این عناصر در زون اسکارن در مقایسه با اسکارن‌های دیگر نسبتی کوچک‌تر را نشان می‌دهد (غیاثوند، ۱۳۸۸). نسبت مولی Fe/Al در محلول با فشار ۲Kb می‌توان سوم میزان کلرید فاز سیال ارتباط خطی دارد (Meinert et al, 1984). با توجه به این که میزان این نسبت در نمونه‌های کانسار مزرعه به نسبت پایین است، پس میزان کلرید در فاز سیال کانه‌دار پایین بوده است و احتمالاً به این دلیل میزان عناصر حمل شونده توسط کمپلکس کلریدی مانند Zn, Pb در این کانسار پایین است.

میانگین مقادیر عناصر فلزی اصلی در نمونه‌های گرانیتوئیدی و اسکارن با هم مقایسه گردید که بر این اساس بیشترین میزان غنی شدگی در اسکارن نسبت به توده نفوذی مربوط به Bi با ۷ برابر غنی شدگی می‌باشد. مقادیر Mo, Co و Ag بین سه تا چهار برابر غنی شدگی دارند و این میزان برای عناصر Cu و Au نزدیک به سه برابر می‌باشد. مقادیر As, Sb و Ni غنی شدگی اندکی دارند و هم‌چنین Pb, Sn, Cd نسبت به میانگین توده نفوذی تهی شدگی ضعیفی نشان می‌دهند. مقادیر Zn و W نسبت به توده نفوذی تغییری نکرده‌اند. میزان غنی شدگی عناصر در زون اسکارن متفاوت است که نشان از تفاوت لیگاندهای حمل‌کننده عناصر فلزی و پایداری کمپلکس‌های حمل‌کننده دارد



شکل ۱۳: میزان تغییرات میانگین مقادیر عناصر فلزی اصلی در زون اسکارن نسبت به توده نفوذی

نتیجه گیری

کانه‌زایی در کانسار مزرعه در اثر تزریق توده گرانیوتییدی شیورداغ به داخل مجموعه آواری، کربناته، آتش فشانی قدیمی تر و تبدیل آن‌ها به مجموعه دگرگونی بیوتیت شیست - کلریت شیست، هورنفلس و اسکارن گارنتی - اپیدوتی و مرمر انجام گرفته است. هرچند که دایک‌های فراوانی با ترکیب گرانیوتی، گرانودیوریتی تا مونزودیوریتی در سنگ‌های منطقه به چشم می‌خورند اما عامل اصلی کانه‌زایی در مزرعه توده نفوذی گرانیوتییدی شیورداغ با ترکیب گرانیوتی تا گرانودیوریتی، کوارتز دیوریتی است و دایک‌ها از نظر کانه‌زایی عقیم می‌باشند. کانه‌زایی در کانسار مزرعه هم به صورت اندو اسکارن و هم اگزو اسکارن ایجاد شده است. ولی عمده کانه‌زایی به شکل اندو اسکارن و در سنگ میزبان کربناته، آواری، آتش-فشانی انجام گرفته است. براساس شواهد پترولوژیکی و ژئوشیمیایی توده گرانیوتییدی مولد کانه‌زایی سنگ‌هایی از نوع نیمه آلکالن، پرآلومینه، کلسیک می‌باشند و در محدوده گرانیوت‌های تیپ S قرار می‌گیرند. دگرسانی‌های کلریتی، اپیدوتی و

سریسیتی ارتباط ژنتیکی تنگاتنگی با زون کانه‌زایی دارند. کانه‌زایی در مزرعه شامل زون‌های اسکارن گارنت-اپیدوتی و نیز اسکارن مرمری، بیوتیت کلریت شیست و هورنفلس می‌باشد. عمده کانه‌زایی در واحد اسکارن گارنت اپیدوتیتی انجام پذیرفته است. کانی‌های اصلی این زون شامل گارنت، اپیدوت، آکتینولیت، کلریت، بیوتیت، فلدسپار، سریسیت و به میزان کمتر آمفیبول، کلینوپیروکسن و کوارتز می‌باشند. کانه‌زایی به شکل ضعیف‌تر در زون‌های اسکارن مرمری و هورنفلس نیز انجام پذیرفته است. گارنت‌ها از نوع آلومینیوم و آهن‌دار یعنی آندرادیت و گروسولار می‌باشند. با توجه به وجود گارنت‌های کلسیم‌دار نظیر آندرادیت و گروسولار در اسکارن مزرعه این اسکارن یک اسکارن کلسیمی می‌باشد. ترکیب کانی‌شناسی فلزی شامل ماگنتیت، پیریت و سولفیدهای مس مثل کالکو پیریت، بورنیت و کوولیت و نیز کانی‌هایی مثل هماتیت (اسپیکولاریت) و گوتیت و نیز در سطح اکسید مس (مالاکیت) است. بافت اصلی کانه‌زایی به شکل پراکنده در متن، رگه و رگچه‌ای می‌باشد. هر سه مرحله اصلی تشکیل اسکارن یعنی

وجود همبستگی مثبت تقریبی بین مقادیر مس و نقره و عدم مشاهده فاز مستقل کانی‌شناسی طلا و نقره و عناصر فلزی اصلی دیگر به جز مس و آهن می‌توان کانه‌زایی طلا در منطقه را مستقل از فاز کانه‌زایی اسکارن مس تشخیص داد. کانه‌زایی نقره را می‌توان مربوط به فاز اسکارن مس ولی با فاز متفاوتی از عنصر مس دانست. به دلیل غلظت نسبتا بالای عناصر فلزی نظیر Ag, Cu و Au در توده نفوذی مقادیر غنی شدگی این عناصر در زون اسکارن در مقایسه با اسکارن‌های دیگر نسبتی کوچک‌تر را نشان می‌دهد.

سپاسگزاری

بدین وسیله از مدیریت و کارکنان محترم امور تحقیق و توسعه شرکت ملی صنایع مس ایران (سرچشمه) برای تامین مالی این پژوهش و از کارکنان شرکت ملی مس مستقر در شهرستان‌های اهر و ورزقان به دلیل همکاری در بازدید صحرائی و نمونه‌برداری تشکر و قدردانی می‌گردد.

ایجاد هاله دگرگونی، پیش رونده و پس رونده در کانسار مزرعه قابل مشاهده است. حجم عمده کانه-زایی سولفیدی به خصوص سولفیدهای مس در مرحله اسکارن پس رونده انجام شده است. ویژگی-های توده گرانیوتییدی مزرعه از نظر اکسیدهای اصلی و نسبت‌های عناصر فرعی در محدوده گرانیوتیوریت، با ماهیت نیمه قلیایی مرتبط با کمان آتش فشانی قرار گرفته‌اند که بر این اساس بیشترین انطباق را با محدوده پلوتون‌های بارور مرتبط با اسکارن مس - آهن دارند. طلا با میانگین تقریبی ۰/۳ و نقره با میانگین ۹/۹۴ ppm غنی شدگی نسبتا بالایی را در زون اسکارن دارند. هیچ کدام از این دو عنصر همبستگی مثبتی را با سولفور ندارند. ولی نقره همبستگی مثبت خطی را با مس نشان می‌دهد. شواهد زمین‌شناسی، کانی‌شناسی و ژئوشیمیایی این پژوهش نشان می‌دهد که اولاً توده نفوذی عامل کانه‌زایی مزرعه در محدوده گرانیوتیوئیدهای مولد اسکارن مس - آهن قرار می‌گیرد و ویژگی‌های یک توده نفوذی مولد اسکارن طلا را نشان نمی‌دهد. ثانیاً عدم وجود همبستگی مثبت خطی بین مقادیر طلا و مس در نمونه‌ها و

منابع

- زاهدی، ا. و بومری، م.، ۱۳۹۳. استفاده از عناصر خاکی کمیاب و میانبارهای سیال در تعیین خاستگاه سیال‌های سازنده اسکارن پناه کوه، شمال باختر تفت، استان یزد، فصلنامه علوم زمین، شماره ۹۵، ص ۳۲۹-۳۴۰.
- شهاب پور، ج.، ۱۳۸۰. زمین‌شناسی اقتصادی، انتشارات دانشگاه شهید باهنر کرمان، ۵۳۲ ص.
- شهبازی، س.، قادری، م. و رشیدنژاد، ن.، ۱۳۹۴. مراحل کانه‌زایی و منشأ آهن کانسار باشکند در جنوب باختری سلطانیه براساس شواهد کانی-شناسی، ساخت، بافت و ژئوشیمی، فصلنامه علوم زمین، شماره ۹۵، ص ۳۵۵-۳۷۲.
- باباخانی، ع.، ۱۳۸۸. گزارش اکتشافی داخلی کانسار مزرعه، شرکت پارس اولنگ، ۱۱۴ ص.
- تقی پور، ب. و مکی زاده، م.ع.، ۱۳۹۰. سنگ زایش اسکارن مرتبط با توده نفوذی مس پورفیری علی آباد دره زرشک، یزد، مجله زمین‌شناسی اقتصادی، شماره ۱، ص ۷۹-۹۲.
- حسن پور، ش.، ۱۳۸۹. متالوژنی و کانی‌زایی کانسارهای مس و طلا در زون ارسباران (آذربایجان شرقی)، رساله دکتری، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی.

- مهرابی، ب.، طالع، ا. و قاسمی، م.، ۱۳۹۰. مطالعات ژئوشیمیایی و فلزایی توده گرانیتوییدی سرخ کوه (مجموعه آتش فشانی - نفوذی خاور ایران) و ارتباط آن با کانی‌سازی مس - طلا - آهن، فصلنامه زمین‌شناسی ایران، شماره ۲۰، ص ۲۹-۴۵.
- مهرپرتو، م. و ناظر، خ.، ۱۳۸۰. گزارش زمین‌شناسی نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ کلبر، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- ملاتی، ح.، ۱۳۹۰. ژئوشیمی و سنگ‌شناسی توده گرانو دیوریتی مزرعه، شمال اهر آذربایجان شرقی و مقایسه آن با توده‌های دیگر گرانو دیوریتی ایران و جهان، مجله بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران، سال ۱۹، شماره ۱، ص ۱۸۳-۱۹۸.
- نبوی، م.ح.، ۱۳۵۵. زمین‌شناسی ایران، سازمان زمین‌شناسی کشور، ۱۰۹ ص.
- عادل پور، م.، رسا، ا.، مسعودی، ف. و حسینی، م.، ۱۳۹۴. سنگ‌نگاری، ژئوشیمی، کانه‌زایی و جایگاه زمین‌ساختی - ماگمایی کانسار مس گرماب، قائن (خراسان جنوبی)، مجله پژوهش‌های علوم زمین، شماره ۲۴، ص ۵۸-۷۷.
- علوی، غ.، موید، م. و حسین زاده، م.ر.، ۱۳۹۴. مطالعات سنگ‌شناسی، شیمی کانی و سنگ‌زایی باتولیت شیورداغ (شمال اهر - آذربایجان شرقی)، فصلنامه زمین‌شناسی ایران، شماره ۳۳، ص ۱۰۵-۱۲۲.
- غیاثوند، ع.، قادری، م. و رشیدنژاد، ن.، ۱۳۸۸. کانی‌شناسی و ژئوشیمی کانسارهای آهن شمال سمنان، فصلنامه علوم زمین، شماره ۷۲، ص ۳۳-۴۴.
- محل، م. و سهندی، م.، ۱۳۷۸. تکامل تکتونیکی پهنه سندانج - سیرجان در نیمه شمال باختری و معرفی زیر پهنه‌های جدید در آن، فصلنامه علوم زمین، شماره ۳۱-۳۲، ص ۲۸-۴۹.
- Bazin, D. and Hubner, H., 1969. Copper deposits in Iran: Report No.13. Geological Survey of Iran, 190 p.
- Berman, R.G., 1988. Internally-consistent thermodynamic data for minerals in the system Na₂O- K₂O-CaO-MgO- FeO- Fe₂O₃- Al₂O₃- SiO₂- TiO₂- H₂O-CO₂. Journal of Petrology, v. 29, p. 455-522.
- Berberian, F. and Berberian, M., 1981. Tectonoplutonic episodes in Iran. In: Gupta, H.K., Delany, F.M. (Eds.), Zagros Hindukosh, Himalaya Geodynamic Evolution", American Geophysical Union, Washington, DC, p. 5-32.
- Chappell, B.W. and White, A.J.R., 1974. Two contrasting granite types. Pac. Ged. 8, 173-4. Contact Metamorphism, edited by D. M. Kerrick.
- Cox, K.G., 1979. The Interpretation of Igneous Rocks. Allen and Unwin, London, 450 p.
- Deer, W.A., Howie R.A. and Zussman, J., 1991. An introduction to the rock forming minerals, seventeenth, Longman, 528 p.
- Duan, S., Zhang, Z., Jiang, Z., Zhao, J., Zhang, Y., Li, F. and Tian, J., 2014. Geology, geochemistry, and geochronology of the Dundee iron-zinc ore deposit in western Tianshan, China, Ore Geology Reviews, v. 57, p. 441-461.
- Einaudi, M.T., 1981. Skarns associated with porphyry plutons. Description of deposits, southwestern North America, in Titley, S.R., (ed), Advances in geology of porphyry copper deposits of southwestern North America: Tucson, Univ.Ariz. Press, p. 139-183.
- Fan, W.M., Gue, F., Wang, Y.J. and Lin, G., 2003. Late Mesozoic calc-alkaline volcanism of post-orogenic extension in the northern Da Hinggan Mountains, northeastern China. Journal

- of Volcanology and Geothermal Research, v. 121, p. 115-135.
- Floyd, P.A. and Winchester, J.A., 1975. Magma type and tectonic setting discrimination using immobile elements. *Earth Plan. Sci. Let.*, v. 27, p. 211-218.
- Haynes, D.W., Cross, K.C., Bills, R.T. and Reed, M.H., 1995. Olympic Dam ore genesis: a fluid mixing model, *Econ. Geol.*, v. 90, p. 281-307.
- Hezarkhani, A., 2006. Geochemistry of the Anjerd Skarn and its association with copper mineralization, northwestern Iran, *International Geology Reviews*, v. 48, p. 892-909.
- Irvine, T.N. and Baragar, W.R.A., 1989. A guide to the chemical classification of the of Igneous Rocks and Glossary of Terms, Blackwell, Oxford, 289 p.
- Karimzadeh Somarin, A. and Moayyed, M., 2002. Granite- and gabbrodiorite-associated skarn deposits of NW Iran. *Ore Geol Rev*, v. 20, p. 127-138.
- Karimzadeh Somarin, A., 2004. Garnet composition as an indicator of Cu mineralization: evidence from skarn deposits of NW Iran, *J Geochem Explor*, v. 81, p. 47-57.
- Karimzadeh Somarin, A., 2010. Garnetization as a ground preparation process for copper mineralization: evidence from the Mazraeh skarn deposit, Iran, *Int J Earth Sci (Geol Rundsch)*, v. 99, p. 343-356.
- Lescuyer, J.I. and Riou, R., 1976. *Géologie de la region de Mianeh (Azarbayjan). Contribution de la volcanisme tertiare de l' Iran"*, Thèse 3 cycle, Grenoble, 234 p.
- Lingang, X., Jingwen, M., Fuquan, Y., Hennig, D. and Jianmin, Z., 2010. Geology, geochemistry and age constraints on the Mengku skarn iron deposit in Xinjiang Altai, NW China, *Journal of Asian Earth Sciences*, v. 39, p. 423-440.
- Maniar, P.D. and Piccoli, P.M., 1989. Tectonic Discrimination of Granitoids, *Geological Society of America Bulletin*, v. 101, p. 635-643.
- Meinert, L.D., 1984. Mineralogy and petrology of iron skarns in western British Columbia, Canada, *Econ. Geol.*, v. 79, p. 869-882.
- Meinert, L.D., Brooks, J.W. and Myers, G.L., 1990. Whole rock geochemistry and contrast among skarn - types: in Meinert, L.D. (ed), skarn deposits in Nevada, Great Basin Symposium, Geology and ore deposits of the Great Basin, Geological Society of America, Fieldtrip 2, Guide book, p. 179-192.
- Meinert, L.D., 1992. Skarns and skarn deposits. *Geosci Can*, v. 19, p. 145-162.
- Meinert, L.D., 1995. Compositional variation of igneous rocks associated with skarn deposits, Chemical evidence for genetic connection between petrogenesis and mineralization, in Thompson, J.F.H., ed., *Magmas, fluids, and ore deposits*, Min. Assoc. Can, Short Course Series, v. 23, p. 401-418.
- Meinert, L.D., Dipple, G.M. and Nicolescu, S., 2005. World skarn deposits, In: Hedenquist JW, Thompson JFH, Goldfarb RJ, Richards JP (eds) *Economic geology 100th anniversary volume*. Society of Economic Geologists, Littleton, p. 299-336.
- Middlemost, E.A.K., 1994. Naming material in the magma/igneous rock system, *Earth-Science Review*, v. 37, p. 215-224.
- Mpodozis, C. and Ramos, V., 2002. The Andes of Chile and Argentina, Cordillera de los Andes geological and mining potential, the new tectonic and metallogenic approach. *International Symposium, Mendoza, Argentina*, p. 59-90.
- Newberry, R.J., Burns, L.E., Sawmson, S.E. and Smith, T.E., 1990. Comparative petrologic evolution of the Sn and W granites of the Fairbanks - Circle area,

- interior Alaska: in Stein, H.J. and Hannah.L. (eds), Ore bearing granite systems.
- Pearce, J.A. and Can, J.R., 1973. Tectonic setting of basic volcanic rocks determined using trace elements analysis. *Earth Planetary Science*, p. 290-300.
- Perkins, E.H., Brown, T.H. and Berman, R.G., 1986. PTX-SYSTEM: Three programs for calculation of pressure- temperature- composition phase diagrams, *Computers and Geoscience*, v. 12, p. 749-755.
- Pirajno, F., 2009. Hydrothermal processes and mineral systems, Geological Survey Western Australia, 1250 p.
- Pons, J.M. and Franchini, M., 2009. Iron skarns of the Vegas Peladas district, Mendoza, Argentina, *Economic Geology*, v. 104, p. 157-184.
- Rollinson, H.R., 1993. Using geochemical data: evaluation, presentation, interpretation, Longman scientific and technical, 252 p.
- Stocklin, J. and Setudehnia, A., 1977. Stratigraphic Lexicon of Iran, Geology survey of Iran, no,18, second edition, p. 252-253.
- Superceanu, C.I., 1971. The Eastern Mediterranean-Iranian Alpine copper-molybdenum belt. *Society of Mining Geology of Japan, Special Issue*, v. 3, p. 393-398.
- Taylor, B.E. and Liou, J.G., 1978. The low temperature stability of andradite in C-O-H fluids. *American Mineralogist*, v. 63, p. 378-393.
- Tray, R.J. and Frost, B.R., 1991. Phase equilibria and thermobarometry of calcareous- ultramafic and mafic rocks and iron formation in D.M., Kerrick, E. d., *Contact Metamorphism Min.Soc.Amer., Reviews in Mineralogy*, v. 26, p. 207-289.
- Ulrich, T. and Heinrich, C.A., 2002. Geology and alteration geochemistry of the Porphyry Cu-Au Deposit at Bajo de la Alumbrera, Argentina: *Economic Geology*, v. 97, p. 1865-1888.
- Wilson, M., 1989. Igneous petrogenesis. 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, p. 241-273.
- Zanetti, A., Mazzucchelli, M., Rivalenti, G. and Vannuci, R., 1999. The Finero phlogopite-peridotite massif: an example of subduction-related metasomatism. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, v. 134, p. 107-122.