

## بررسی زمین‌شناسی و ژئوشیمی کانی‌سازی‌های مرتبط با گرانیت قلیایی منطقه آق‌زیارت، جنوب شرق سلماس، شمال غرب ایران

آدین بیگدلی<sup>۱\*</sup> و علی امامعلی‌پور<sup>۲</sup>

۱ و ۲- گروه مهندسی معدن، دانشگاه ارومیه، ارومیه

نویسنده مسئول: \* adian.bigdelii@gmail.com

دریافت: ۹۴/۴/۱۰ پذیرش: ۹۵/۲/۲۰

### چکیده

ناحیه آق‌زیارت، در جنوب شرق شهرستان سلماس قرار دارد. مهم‌ترین رخنمون‌های موجود در محدوده، توده‌های نفوذی گرانیت قوشچی با سن کربنیفر پسین است که از نظر ژئوشیمیایی، ماهیت آکالن داشته و احتمالاً متعلق به گرانیت‌های تیپ A است. علاوه بر آن، یک توده سینیتی سنگ‌های گرانیتی را قطع می‌کند. نفوذ توده گرانیتی، به درون سنگ‌های دگرگونی ناحیه‌ای، سبب ایجاد فرآیندهای متاسوماتیسم، دگرسانی و کانی‌سازی در سنگ‌های درونگیر شده است. کانی‌سازی مس-طلا-مولیبدن در زون‌های سیلیسی-پیریتی با ساخت استوک ورک رخ داده است. پیریت و ملنیکوبت کانی‌های سولفیدی اصلی در زون دگرسانی هستند. آرسنوپیریت، کالکوپیریت، اسفالریت و گالن کانی‌های فرعی هستند. بررسی انجام گرفته با استفاده از تجزیه نقطه‌ای ریزکاو الکترونی گویای آن است که طلا در پیریت‌های موجود در سنگ‌های به شدت سیلیسی شده تمرکز پیدا کرده است. میانگین طلا در تعداد ۷۰ نمونه لیتوژئوشیمیایی برداشته شده ۰/۶۷ گرم در تن می‌باشد و بیش‌ترین مقدار به دست آمده ۱/۸ گرم در تن است. عنصر Au با Mo همبستگی متوسط ۰/۵۳ و As با عناصر Mo, Pb, Ni, Co به ترتیب همبستگی ۰/۷۲، ۰/۵۳، ۰/۵۸ و ۰/۵۷ دارد. بر اساس نتایج به دست آمده از روش آنالیز فاکتوری، سه فاکتور اصلی بدست آمده که در کانی‌سازی منطقه نقش دارند. فاکتور اول شامل Co, Ni, As فاکتور دوم شامل عناصر Cu, Zn و فاکتور سوم شامل Pb, Mo, Au است.

واژه‌های کلیدی: کانی‌سازی، ژئوشیمی، گرانیت قلیایی، آق‌زیارت

### مقدمه

گرانیت قوشچی معروف است و در نقشه‌های زمین‌شناسی تهیه شده توسط سازمان زمین‌شناسی کشور (مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰ و ۱:۱۰۰۰۰۰) به سن کرتاسه پسین نسبت داده شده است. تعیین سن ایزوتوپی انجام گرفته توسط شفیع‌مقدم [۱۹] که به روش U-Pb بر اساس کانی زیرکن انجام گرفته، دال بر آن است که گرانیت قلیایی قوشچی و گابرونوریت‌ها همزمان با هم و در حدود ۳۲۰ میلیون سال پیش (معادل کربنیفر پسین) جایگزین شده‌اند. بررسی‌های انجام شده توسط پژوهشگران مختلف گویای آن است که این گرانیت از نظر ژئوشیمیایی ویژگی‌های گرانیتوئیدهای تیپ A را دارا می‌باشد [۲، ۳، ۴، ۷ و ۱۹]، به طوری که از نظر ژئوشیمیایی از عناصر قلیایی Y, Zr, Nb, Ga غنی‌شدگی و از عناصر P و Sr تهی شده است [۱۹]. گرانیت‌های تیپ A از نظر تکنیکی در خاستگاه‌های غیرکوهزایی و پس از کوهزایی تشکیل می‌شوند و با سنگ‌های مافیکی قلیایی همراه

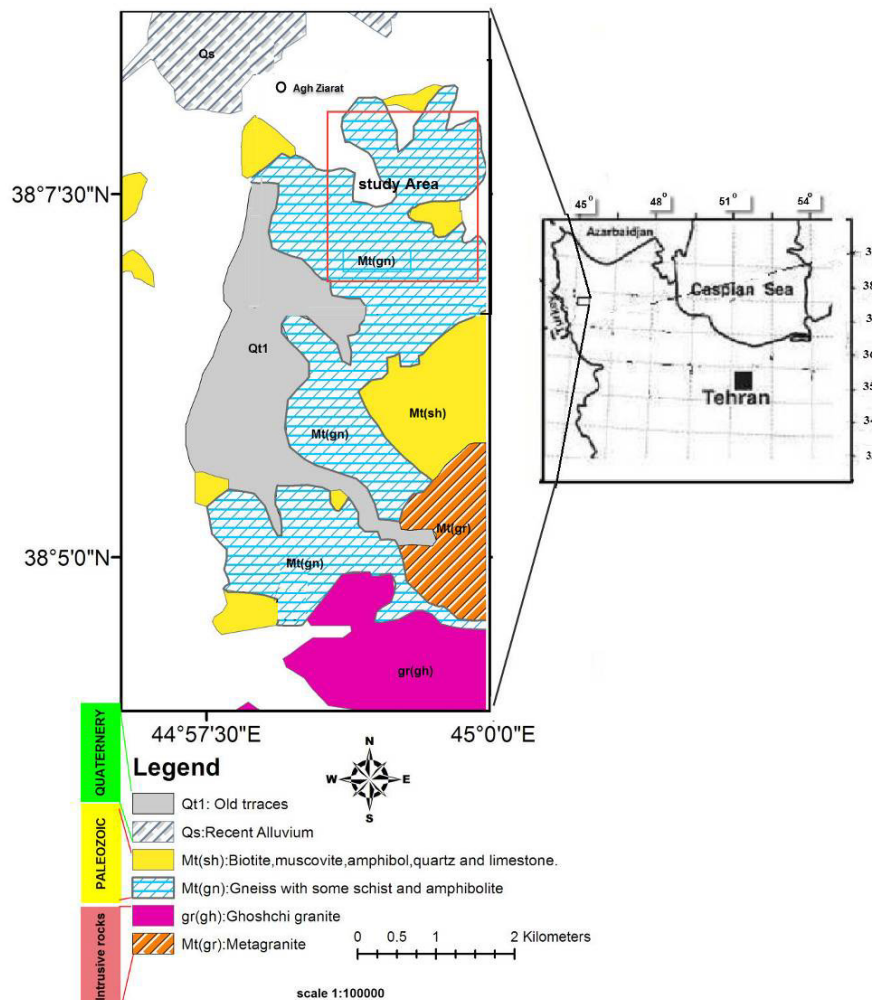
ناحیه آق‌زیارت، واقع در شمال ارومیه و جنوب شرق شهرستان سلماس، از نظر تقسیمات کشوری بخشی از شهرستان سلماس است (شکل ۱). از نظر موقعیت ساختاری ناحیه آذربایجان در بخش انتهایی شمال غربی زون سنندج-سیرجان قرار دارد: که بین محققان در مورد ادامه شمال غربی این زون اتفاق نظر وجود ندارد. برخی بر این باورند که دگرگونه‌های موجود در ناحیه تکاب-سلماس در واقع بخشی از ایران مرکزی است [۱]. از نظر تقسیم‌بندی نبوی، این ناحیه در زون خوی-مهاباد واقع شده است. از نظر زمین‌شناسی ناحیه‌ای و متالوژنی، این ناحیه در پلاتفرم باختر دریاچه ارومیه قرار می‌گیرد [۲]. مهم‌ترین رخنمون‌های موجود در محدوده شامل توده‌های نفوذی آکالی فلدسپار گرانیت و گابرونوریت است که به درون سنگ‌های دگرگونی آمفیبولیت، گنایس و شیبست به سن پرکامبرین پسین-پالئوزوئیک زیرین نفوذ کرده‌اند [۱۹]. توده نفوذی آکالی فلدسپار گرانیت یاد شده به

- بررسی‌های آماری بر روی داده‌های ژئوشیمیایی (نمونه‌های برداشته شده از زون‌های کانهدار) به منظور تعیین میزان همبستگی عناصر مختلف با همدیگر و نیز تعیین اصلی‌ترین فاکتورهای کانی‌سازی با استفاده از آنالیز فاکتوری و آنالیز خوشه‌ای.

گرانیت‌های تیپ A به دو گروه گرانیت‌های غنی از سدیم و غنی از پتاسیم تقسیم می‌شوند و هر کدام از آن‌ها جنبه‌های فلزایی متفاوتی دارند [۱۸]. انواع غنی از سدیم حاوی تمرکزاتی از عناصر REE, Th, U, Nb و در برخی موارد Sn هستند، در حالی که انواع غنی از پتاسیم می‌توانند ذخایر معدنی F, Pb, Zn, W, Sn را به همراه داشته باشند. این کانی‌سازی‌ها می‌توانند به صورت گرایزن، پگماتیت و استوک ورک‌های پورفیری روی دهند [۱۸].

هستند [۱۲]. به طور کلی اهداف اصلی این پژوهش را می‌توان در چند مورد زیر خلاصه کرد:

- بررسی زمین‌شناسی مناطق کانهدار و ارتباط آن با توده نفوذی گرانیتی قلیایی در ناحیه مورد مطالعه.
- بررسی کانی‌شناسی زون‌های کانهدار و مشخص نمودن محل تمرکز فاز طلا در کانسنگ. این بررسی می‌تواند در آینده به منظور تعیین ارتباط ژنتیکی رخداد طلا با کانی‌های دیگر و نیز تعیین ابعاد و درجه آزادی ادامه پیدا کند.
- تعیین جایگاه تکتونیکی کانی‌سازی با بررسی ژئوشیمی توده نفوذی.
- بررسی عیار عناصر و تغییرات آن‌ها در زون‌های کانهدار به ویژه عنصر طلا.



شکل ۱. نقشه زمین‌شناسی ساده شده منطقه سلماس (با تغییرات از برگه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰:اسلماس [۶])

## روش مطالعه

برای انجام این پژوهش، از داده‌های به دست آمده از عملیات اکتشافی در منطقه آق‌زیارت که توسط شرکت کاوش کانی مهاجر در سال ۱۳۹۰ انجام گرفته است، استفاده شده است. در گام نخست، با انجام بررسی‌های صحرایی، واحدهای سنگی، زون‌های دگرسانی و کانی‌سازی و روابط صحرایی آن‌ها مورد مطالعه قرار گرفتند و نمونه‌برداری لازم انجام شد. به منظور انجام بررسی‌های ژئوشیمیایی بر روی توده گرانیته و تعیین جایگاه تکنونیک‌ی تشکیل آن، تعداد ۱۶ نمونه از این سنگ‌ها برداشته شد، آماده‌سازی به صورت پودری انجام گرفته و به روش XRF با حد تشخیص ۱۰-۱۰۰ ppm، آنالیز شیمیایی شدند. تعداد ۷۰ نمونه لیتوژئوشیمیایی از منطقه دگرسانی و ترانسه‌های اکتشافی برداشته شد. نمونه‌برداری به روش لب‌پری (Chip sampling) انجام گرفته است؛ که این نمونه‌ها با روش جذب اتمی کوره گرافیتی با حد تشخیص ۱ ppb در آنستیتوی زمین‌شناسی آکادمی علوم کشور آذربایجان مورد تجزیه قرار گرفته است. مطالعات سنگ‌نگاری و کانه‌نگاری به ترتیب بر روی تعداد ۷ و ۵ نمونه مقطع انجام شد. همچنین به منظور بررسی دقیق‌تر کانی‌شناسی و تعیین چگونگی حضور فاز طلا در کانسنگ با بهره‌گیری از امکانات میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) و ریزکاو الکترونی (EMPA) تعداد ۹ نمونه از قسمت‌های مختلف انتخاب و به مرکز تحقیقات فرآوری مواد معدنی ایران (کرج) ارسال شد. آنالیزها توسط دستگاه ریزکاو الکترونی (الکترون میکروپروپ) مدل Cameca SX100 ساخت کشور فرانسه با ولتاژ شتاب دهنده 20Kv و جریان پرتو 20 nA با قطر پرتو ۲ تا ۵ میکرون انجام گرفته است.

## زمین‌شناسی منطقه آق‌زیارت

واحدهای سنگی دارای رخنمون در منطقه مورد مطالعه شامل انواع سنگ‌های آمفیبولیتی، گرانیت-گنیس، میکروگرانیت-گرانیت، پیروکسنیت، آپلیت و سینیت هستند. واحدهای سینیتی و دایک‌های آپلیتی به داخل مجموعه دگرگونی و پیروکسنیت نفوذ کرده‌اند [۵]. شکل ۲ نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰ منطقه آق‌زیارت را نشان می‌دهد [۱۰]. در ادامه به بررسی هریک از واحدهای زمین‌شناسی منطقه می‌پردازیم.

## واحد آمفیبولیت-(Pam): این واحد قدیمی‌ترین و

وسیع‌ترین واحد زمین‌شناسی منطقه است و بیش‌ترین گسترش را در جنوب و شمال شرق نقشه دارد. سنگ‌های تشکیل‌دهنده این واحد اغلب از آمفیبولیت‌های سبز و خاکستری رنگ است. مطالعات کانی‌شناسی و صحرایی نشان می‌دهد بیش‌تر کانی‌های این واحد شامل هورنبلاند، پلاژیوکلاز، کوارتز، بیوتیت، کلریت و اپیدوت هستند که با ابعاد کمتر از ۲ تا ۳ میلی‌متر در متن سنگ وجود دارند. این واحد در اثر عملکرد گسل‌ها به شدت شکسته شده که در امتداد آن رگه‌های کلسیتی، سیلیسی و اپیدوتی قابل مشاهده است. از مشخصات بارز این واحد می‌توان به توده‌های سینیتی با ابعاد مختلف اشاره کرد که به صورت سیل، دایک و استوک در این سنگ‌ها نفوذ کرده‌اند.

- واحد گنیس-آمفیبولیت-شیست (Pgn): عمده‌ترین سنگ‌های این واحد شامل گنیس است که بیش‌ترین گسترش را در شرق محدوده دارد. این سنگ‌ها دارای بافت پورفیروئیدی هستند به طوری که ابعاد بعضی از پلاژیوکلازها به ۳۰ میلی‌متر نیز می‌رسد. این سنگ‌ها با توده‌های کوچک و بزرگ پیروکسنیت و آمفیبولیت همراه هستند که اغلب به صورت گسلی در میان این واحد دیده می‌شوند. در قسمت‌های جنوبی این واحد می‌توان توده‌هایی از سنگ‌های سینیتی را مشاهده کرد. در میان این واحد شیست نیز در مقادیر اندک یافت می‌شود. این واحد در شمال دارای مرز مشترک با آپلیت‌ها و در جنوب دارای مرز مشترک با آمفیبولیت‌ها می‌باشد. در قسمت‌های جنوبی این واحد می‌توان توده‌های کوچک و بزرگی از سنگ‌های سینیتی و آلکالی سینیتی را مشاهده کرد. بافت میکروسکوپی سنگ گرانولار بوده و کانی‌های اساسی تشکیل‌دهنده سنگ کوارتز و آلکالی فلدسپار و بیوتیت می‌باشد.

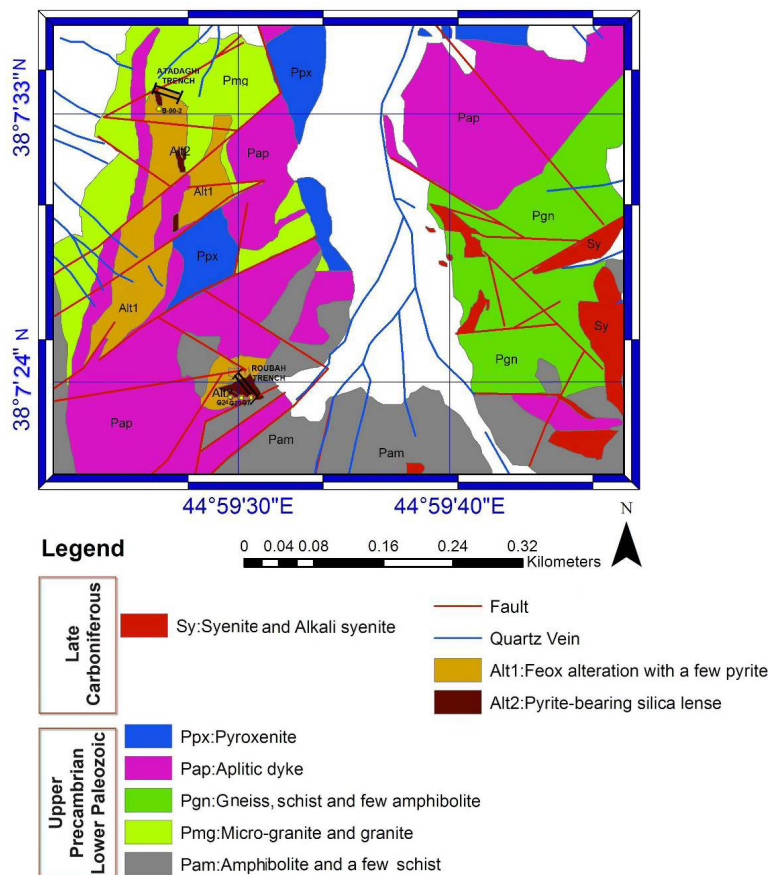
- واحد آپلیتی-(Pap): این واحد شامل آپلیت‌های کرم رنگ ریزدانه و میکروگرانیت‌هایی است که دارای بیوتیت کم‌تری نسبت به واحد گنیس-آمفیبولیت-شیست است. این واحد بیش‌ترین گسترش را در مرکز و شمال شرق نقشه دارد. اندازه درشتی بلورها در این واحد کمتر از ۲ میلی‌متر است. این واحد توده‌ای بوده و در داخل آن می‌توان توده‌های بزرگ و کوچک پیروکسنیت و آمفیبولیت را به صورت گسلی مشاهده کرد. این واحد به

شده به نام آناداگی در میان آن قرار دارد (شکل ۲). در میان این واحد می‌توان زبانه‌هایی از واحدهای آپلیتی و تعدادی رگه پگماتیتی میکادار و رگه‌های کوارتز را مشاهده نمود. بافت میکروسکپی سنگ میکروگرانولار بوده و کانی‌های اصلی تشکیل‌دهنده سنگ، کوارتز، میکروکلین، بیوتیت و مسکویت هستند.

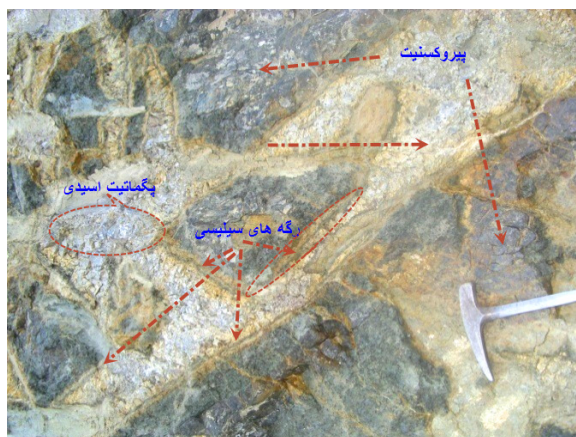
- **واحد پیروکسنیت (Ppx):** این واحد یکی از قدیمی‌ترین واحدهای زمین‌شناسی منطقه است که به صورت رخنمون‌های کوچک و بزرگ در میان سایر واحدها قرار گرفته است. رنگ این واحد سیاه بوده و رنگ هوازده آن سبز می‌باشد. سنگ‌های این واحد به سختی شکسته می‌شود. بلورهای تشکیل‌دهنده این واحد بیش‌تر اورتوپیروکسن، کلینوپیروکسن، اولیوین و بیوتیت و هم‌چنین دارای مقادیر زیادی کانی کدر است. این سنگ‌ها تحت تاثیر محلول‌های گرمایی حاصل از رگه‌های پگماتیتی و کوارتزی سرپانتینی-کلریتی شده‌اند (شکل ۳).

همراه میکروگرانیت‌ها و آمفیبولیت‌ها یکی از مهم‌ترین میزبان‌های توده‌های کانه‌دار سیلیسی-پیریتی منطقه است. ترانشه روباه (شکل ۲) در این واحد حفر شده است. این واحد در شمال با میکروگرانیت‌ها، در جنوب با آمفیبولیت‌ها و در شرق با گنیس-آمفیبولیت-شیست دارای مرز مشترک است. بافت میکروسکپی سنگ میکروگرانولار و ساروجی بوده و کانی‌های اصلی آن کوارتز میکروکلین و بیوتیت هستند.

- **واحد میکروگرانیت (Pmg):** این واحد دارای سنگ‌های میکروگرانیت دگرگون شده، بیوتیت شیست و گنیس ریز تا متوسط دانه به رنگ خاکستری روشن می‌باشد و بیش‌ترین گسترش را در شمال-شمال‌غرب نقشه دارند. از مشخصات بارز این واحد می‌توان به وجود مقادیر زیادی بیوتیت اشاره کرد. قطر بلورهای تشکیل‌دهنده این واحد از ۲ تا ۳ میلی‌متر متغیر است. این واحد به همراه آپلیت‌ها و آمفیبولیت‌ها یکی از مهم‌ترین میزبان‌های توده‌های کانه‌دار سیلیسی-پیریتی منطقه است. به طوری که یکی از بزرگ‌ترین ترانشه‌های حفر



شکل ۲. نقشه زمین‌شناسی منطقه آق زیارت سلماس [ ۱۰ ]



شکل ۳. نمایی از نفوذ رگه های سیلیسی و پگماتیتهای به درون پیروکسنیت‌ها

میان واحدهای آمفیبولیتی و گنیسی نفوذ نموده‌اند (شکل ۴).

رنگ این واحد کرم تا سفید رنگ بوده و از کانی‌های مافیک کمی برخوردار است. بافت این سنگ گرانولار و قطر بلورهای فلدسپار آن به ۲۰ میلی‌متر نیز می‌رسد. تعدادی رگه کوارتز به قطرهای ۱-۴ سانتی‌متر در آن‌ها دیده می‌شود. در برخی از نقاط این توده رگه‌های اپیدوتی کوارتزار دیده می‌شود که تجمع آن‌ها در اطراف گسل‌ها بیش‌تر است. این واحد به دلیل سن جوان‌تر خود نسبت به واحدهای قبلی می‌تواند منشأ پگماتیت‌ها، رگه‌های کوارتز و حتی در مواردی کانی‌سازی در منطقه باشد.

بیش‌ترین گسترش این محدوده در شمال و مرکز نقشه مشاهده می‌شود (شکل ۲). ۷ توده کوچک و بزرگ از این واحد در گستره محدوده وجود دارد. بافت میکروسکوپی سنگ گرانولار و غربالی بوده و کانی‌های اساسی تشکیل دهنده آن پلاژیوکلاز، اولیوین، کلینوپیروکسن و بیوتیت می‌باشد.

- **واحدسینیت (Sy):** این واحد جوان‌ترین واحد زمین‌شناسی منطقه می‌باشد که از توده‌های کوچک و بزرگ سینیتی و آلکالی-سینیتی تشکیل شده است. این توده‌های نفوذی در ارتباط با ماگماتیسیم گرانیتی قلیایی منطقه و در مراحل واپسین آن تشکیل شده‌اند. سنگ‌های این واحد بیش‌ترین گسترش را در جنوب و شرق نقشه داشته و به صورت استوک و دایک و سیل در



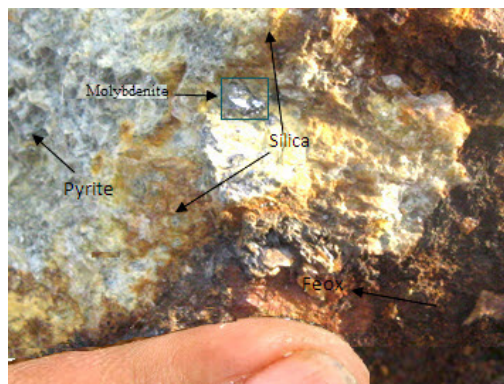
شکل ۴. نمایی از نفوذ عدسی‌های سینیتی در میان آمفیبولیت‌ها و آپلیت‌های آق زیارت (دید از روبرو)

آمفیبولیت و شیست دیده می‌شوند. دگرسانی‌های سیلیسی-پیریتی این محدوده در سطح، خود را به صورت کائولن-اکسید آهن گوتیتی-لیمونیتی-سیلیس نشان می‌دهند و در حقیقت دگرسانی‌های سطحی ذکر شده حاصل فرآیند سوپرژن پیریت‌های اکسید شده

### دگرسانی و کانی‌سازی

کانی‌سازی در آق زیارت شامل زون‌های سیلیسی-پیریتی است که با ابعاد مختلف در سطح زمین رخمون دارند. این کانی‌سازی‌ها بیش‌تر به صورت عدسی و توده‌ای شکل بوده و در میان سنگ‌های دگرگونی ناحیه‌ای شامل

دو محل آتاداغی و روباه‌داغی (شکل ۲)، ساخت‌های استوک‌ورک مانند مشاهده شد که حاوی کانی‌سازی مولیبدنیت می‌باشد (شکل ۵).

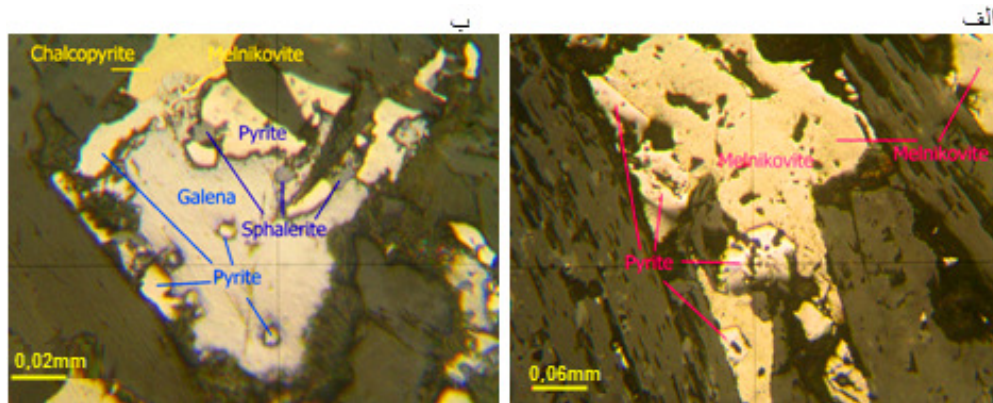


شکل ۵. کانی مولیبدنیت در میزبان زون سیلیسی پیریت‌دار

زیر ۸۰ میکرون است. فراوانی اسفالریت نیز کمتر از ۱٪ است. ابعاد دانه‌های آن بین ۱۰ الی ۲۰۰ میکرون بوده و هم همراه با پیریت و کالکوپیریت و هم به شکل مستقل دیده می‌شود فراوانی گالن کم بوده و معمولاً همراه با سایر کانی‌های ذکر شده و در مجموعه‌های پیریت - اسفالریت - کالکوپیریت حضور دارد. روند کانی‌سازی احتمالاً با تشکیل پیریت‌های اولیه شروع شده و بعد از آن اسفالریت - کالکوپیریت و گالن شکل گرفته است. ظاهراً ملنکویت نیز در مرحله آخر تشکیل گردیده است.

قدیمی‌تر می‌باشند. مناطق کانه‌دار ارتباط تنگاتنگی با تکتونیک و نحوه عملکرد گسل‌های منطقه داشته و توسط آن‌ها کنترل می‌شوند. در زون‌های سیلیسی - پیریتی در

مطالعات مقطع صیقلی بر روی ۵ نمونه تهیه شده از این منطقه نشان می‌دهد پیریت و ملنکویت (پیریت گل کلمی حرارت پایین) مهم‌ترین کانی‌های فلزی این منطقه هستند (شکل ۶-الف، ب). ملنکویت و پیریت حدود ۵ تا ۶۰ درصد حجمی سنگ را تشکیل می‌دهند. این کانی‌ها به شکل دانه‌های اتومرف با ابعاد ۱۰ الی ۲۵۰ میکرون به طور پراکنده در سطح مقاطع مشاهده می‌شوند. فراوانی کالکوپیریت در نمونه‌ها بسیار کم (کمتر از ۱٪) است. دانه‌های این کانی معمولاً همراه با پیریت و به صورت هم رشد با آن مشاهده می‌گردند. ابعاد دانه‌های کالکوپیریت



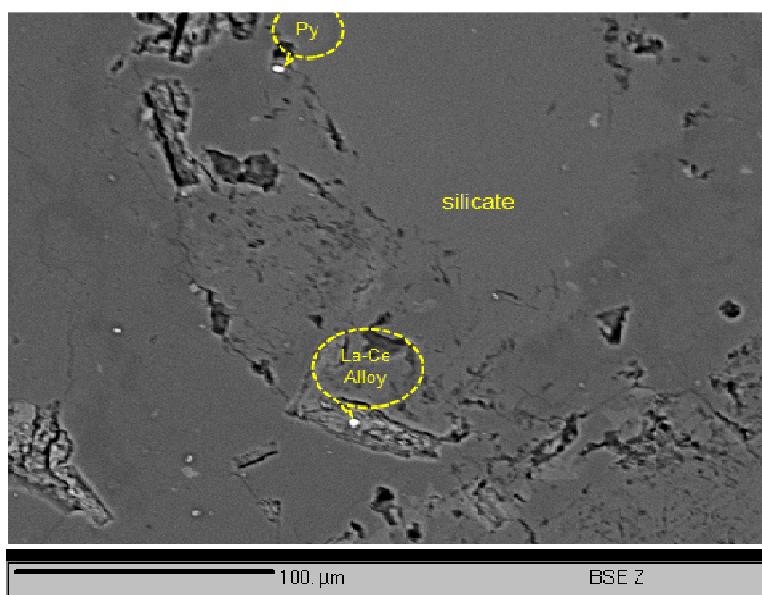
شکل ۶. نمایی میکروسکوپی از حضور کانی‌های سولفیدی پیریت، ملنکویت (الف) پیریت، کالکوپیریت، گالن، اسفالریت و ملنکویت در مقطع (ب)

می‌گردند. آنالیز ریزکاوند الکترونی و بررسی عیار طلا در این نمونه نشانگر وجود این عنصر بین 500ppm تا 2100ppm در یک رگچه سیلیسی پیریت‌دار است (شکل ۷). آنالیز ذرات پیریت پراکنده در نمونه سیلیسی میزان عنصر طلا را تا ۱۰۰۰ ppm نشان می‌دهد. بنابراین پیریت‌های این نمونه از

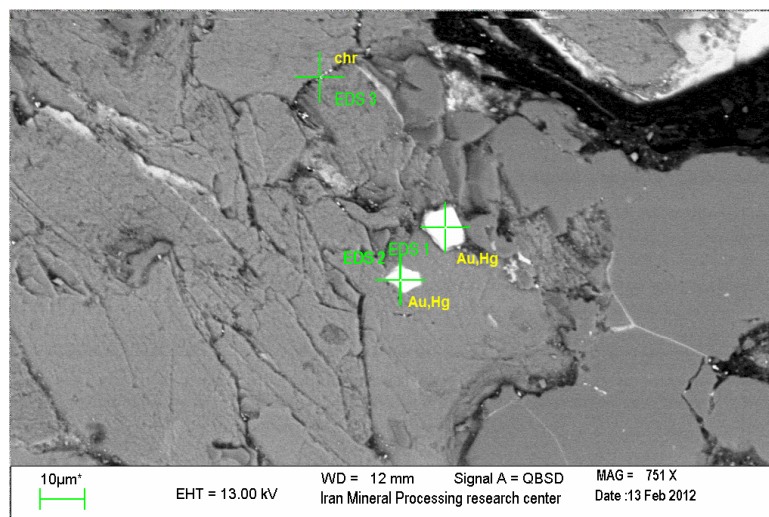
بررسی میکروسکوپی نمونه (G7) نشان داد که این نمونه حاوی کانی‌های پیریت، گالن، اسفالریت و کانی‌های مس در یک زمینه (رگچه سیلیسی) است. اندازه ذرات این کانی‌ها نیز بین ۵ تا ۲۰ میکرون متغیر بوده و هم در داخل بخش سیلیسی و سیلیکاته و هم در حفرات موجود مشاهده

کانی‌سازی‌های جیوه و طلا حائز اهمیت هستند. از آنجا که منشا لیستونیت سنگ اولترامافیک است، لذا وجود کانی کرومیت به عنوان کانی فرعی در آن دور از انتظار نیست و می‌تواند به سنگ منشا الترامافیکی دلالت کند. لازم به ذکر است که وجود این کانی در نمونه مورد مطالعه هیچگونه ارتباطی به کانی‌سازی‌های گرمایی نداشته و حضور کرومیت در این مورد ذاتی سنگ است. در نمونه (G20Ps) طلا همراه سرب و مگنتیت و مقادیر کمتر آرسنیک و پلاتین و در نمونه (G24Ps) طلا همراه جیوه و پلاتین یافت می‌شود (جدول ۱). موقعیت نمونه‌ها در شکل ۲ نشان داده شده است.

نوع طلا دار هستند. همچنین نتایج مطالعات میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) که در چندین مورد انجام شده نشان می‌دهد که مثلاً در نمونه (B90-2) طلا همراه جیوه، آرسنیک و عناصر کمیاب و کرومیت دیده شده است (شکل ۸)، که البته دلیل حضور کرومیت این است که در زون دگرسان واقع در جنوب محدوده مورد مطالعه (زون دگرسان موسوم به روباه داغی)، یک رگه لیستونیتی وجود دارد که ابعاد چندانی ندارد و لذا به طور جداگانه در نقشه زمین‌شناسی تفکیک نشده است. لیستونیت‌ها محصول دگرسانی گرمایی سنگ‌های اولترامافیکی هستند و در زمین‌شناسی اقتصادی و متالورژی به دلیل همراهی آن‌ها با



شکل ۷. تصویر میکروسکوپ الکترونی از نمونه (G7) حضور پیریت همراه کوارتز و ترکیب آلیاژی La-Ce



شکل ۸. تصویر میکروسکوپ الکترونی SEM از نمونه (B90-2) کانی حاوی جیوه و طلا و کرومیت در نمونه

جدول ۱. عناصر شناسایی شده توسط روش SEM

Hg and Au bearing minerals				
Elements	Line	Intensity	Error	Concentration
		(c/s)	2-sig	wt. %
Si	Ka	۷۵/۳۱	۲/۲۴۱	۱۴/۹۳
P	Ka	۴۶/۵۳	۱/۷۶۱	۱۰/۵۰۹
Co	Ka	۰/۴۲	۰/۱۶۶	۰/۵۸۲
Cu	Ka	۰/۱۶	۰/۱۰۴	۰/۴۵
Zn	Ka	۰/۱۶	۰/۱۰۲	۰/۶۶۳
As	Ka	۰/۰۴	۰/۰۴۹	۱/۷۵۸
Ag	La	۰/۷۴	۰/۲۲۲	۰/۸۶۲
Pt	La	۰/۱۲	۰/۰۹	۹/۹۷۱
Au	La	۰/۱۷	۰/۱۰۷	۲۶/۳۱۶
Hg	La	۰/۱	۰/۰۸۱	۳۳/۹۵۹
chromite				
Al	Ka	۱۹/۴۳	۱/۱۳۸	۶/۳۲۰
Si	Ka	۳۸/۳۹	۱/۶	۱۲/۱۸۱
P	Ka	۰/۰۵	۱/۷۶۱	۰/۰۱۸
S	Ka	۱	۰/۲۵۸	۰/۳۲۳
K	Ka	۱۰/۲۸	۰/۸۲۸	۴/۰۴۳
V	Ka	۰/۱۷	۰/۱۰۵	۰/۱۱۴
Cr	Ka	۶۳/۵۶	۲/۰۵۸	۵۹/۹۱۲
Fe	La	۵/۰۲	۰/۵۷۸	۷/۹۹۳
Cu	La	۰/۳۷	۰/۱۵۸	۱/۵۸۸
Zn	La	۰/۴۲	۰/۱۶۷	۲/۷۶۰
As	La	۰/۰۲	۰/۰۳۷	۱/۶۱۶
Ag	La	۰/۳۶	۰/۱۵۴	۰/۳۸۴
W	La	۰/۰۸	۰/۰۷۳	۲/۷۹۴

نمونه‌های مربوط به گرانیته مورد نظر بیش‌تر در محدوده پراکالین تا متالومین قرار گرفته‌اند (شکل ۱۰). یکی از نمودارهایی که در متمایز سازی محیط تکتونیکی گرانیته‌ها کاربرد زیادی دارد، نمودار چند کاتیونی R1-R2 [۱۱] می‌باشد. در این نمودار ضرایب  $R_1, R_2$  بر حسب درصد اکسیدها محاسبه می‌شود. تحول ترکیب‌های شیمیایی گرانیته‌ی یک چرخه کوهزایی در زون همگرا، با گرانیته‌ی قبل از برخورد (گروه ۲) شروع می‌شود و پس از آن به گرانیته‌ی بالآمدگی خشکی پس از برخورد (گروه ۳) و سرانجام به گرانیته‌ی مراحل واپسین کوهزایی (گروه ۴) می‌رسد. گرانیته‌ی همزمان با برخورد (گروه ۶) نیز در گروه گرانیته‌ی کوهزایی قرار دارند. بیش‌تر نمونه‌های برداشت شده از این گرانیته در محدوده گرانیته‌ی پس از کوهزایی (Post-orogenic) و غیرکوهزایی (Anorogenic) قرار می‌گیرند (شکل ۱۱).

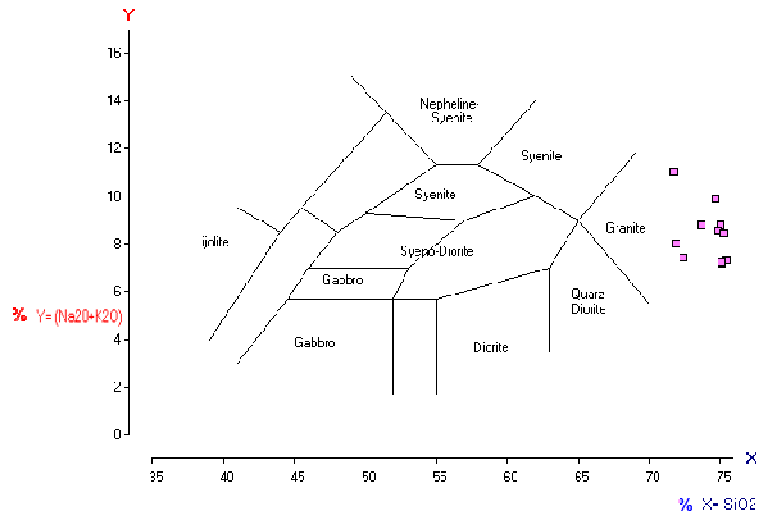
### ژئوشیمی توده گرانیته و جایگاه تکتونیکی کانی‌سازی

از آنجا که کانی‌سازی مورد بحث در پیوند با توده گرانیته قوشچی و همزمان یا متعاقب جایگیری آن در سنگ‌های دگرگونی ناحیه روی داده است، لذا با تعیین محیط تکتونیکی تشکیل توده نفوذی بر اساس داده‌های ژئوشیمیایی، می‌توان جایگاه تکتونیکی کانی‌سازی را مشخص نمود. نتایج آنالیز شیمیایی تعداد ۱۲ نمونه مربوط به گرانیته‌ی منطقه در جدول ۲ آورده شده است.

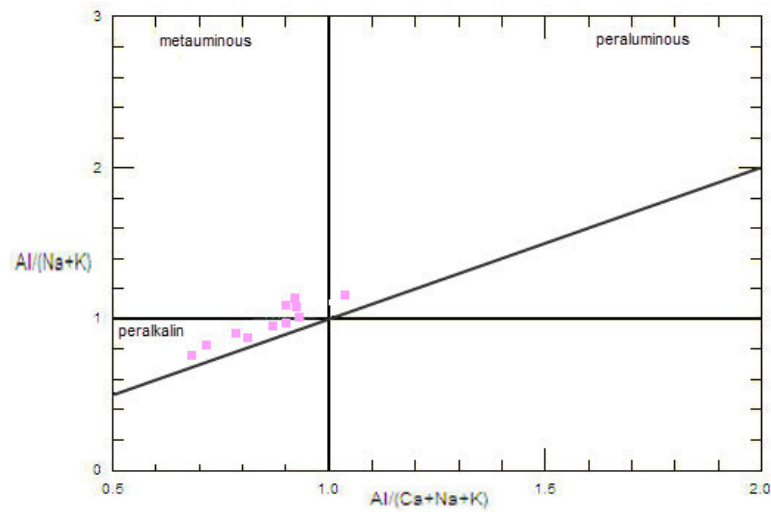
بر پایه نمودار TAS نمونه‌های برداشت شده از گرانیته‌ی قوشچی در محدوده گرانیته قرار می‌گیرد (شکل ۹).

جهت تعیین درجه غنی‌شدگی از آلومین از شاخص شاند استفاده شده است. این نمودار نشان می‌دهد که

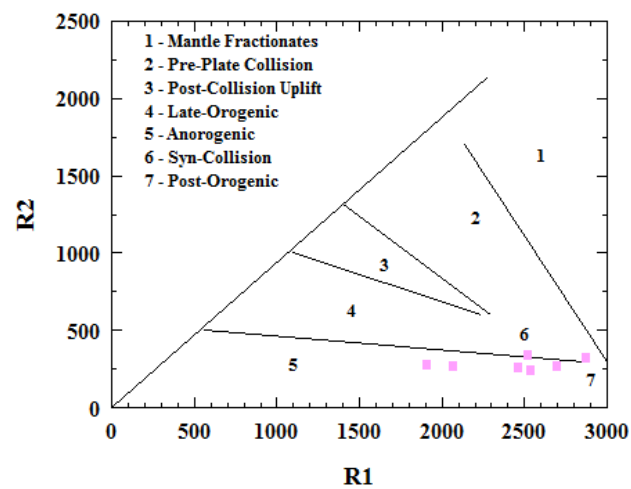




شکل ۹. موقعیت نمونه‌های برداشت شده در نمودار TAS آلکان-سیلیس [۱۳]



شکل ۱۰. موقعیت نمونه‌های برداشت شده در نمودار شاخص شاند [۲۰]



شکل ۱۱. تمایز تکتونیکی گرانیت قوشچی در نمودار R<sub>1</sub>-R<sub>2</sub> [۱۱]

جدول ۲. نتایج آنالیز شیمیایی ۱۲ نمونه سنگ (برحسب درصد وزنی) مربوط به گرانیت قوشچی

نمونه wt%	B-015	B-031	B-025	B-029	B-P19	B-P5	70-2	A-62	A-16	BS-001	BS-002	BS-003
SiO <sub>2</sub>	۷۶/۲	۷۵/۴	۷۸/۸	۷۲/۷	۷۷/۲	۷۷	۷۴/۲	۷۶/۳	۷۴/۵	۷۶/۲	۷۷/۴	۷۳/۲
TiO <sub>2</sub>	۰/۱۹	۰/۱۴	۰/۱۵	۰/۳۱	۰/۱۵	۰/۰۶	۰/۲۲	۰/۳۲	۰/۲۳	۰/۰۵	۰/۰۷	۰/۲۷
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	۱۲/۳۹	۱۱/۱	۹/۹	۱۳	۹/۷	۱۰/۶	۱۲/۳	۱۱/۸	۱۲/۹	۱۲/۳	۱۱/۸۴	۱۲/۵
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	۱/۴۸	۰/۹۵	۰/۵۵	۲	۱/۷	۱/۵	۰/۴۹	۰/۵۷	۰/۳۷	۱/۴۵	۱/۵۴	۳
MgO	۰/۱۶	۰/۲	۰/۲	۰/۳۹	۰/۲	۰/۲	۰/۰۵	۰/۱۲	۰/۳۳	۰/۰۸	۰/۰۸	۰/۰۸
CaO	۰/۸۱	۰/۷	۰/۷	۱/۱	۰/۷	۰/۷	۰/۸۸	۰/۸۲	۰/۹۳	۱/۳۴	n.d.	n.d.
Na <sub>2</sub> O	۲/۵۱	۴/۳	۳/۷	۳/۹	۴/۲	۴/۳	۳/۲۴	۲/۹۵	۲/۹	۳/۴۵	۵/۱۴	۵/۷۹
K <sub>2</sub> O	۵/۸۴	۶/۷	۴/۷	۵/۲	۵/۵	۴/۸	۶/۴۴	۶/۳۱	۶/۵۹	۴/۹۲	۳/۰۸	۲/۷۶
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	۰/۰۳	۰/۰۶	۰/۰۵	۰/۰۳	۰/۰۱	۰/۱	۰/۰۸	۰/۰۴	۰/۰۲	۰/۰۰۸	۰/۰۱	۰/۰۴
LOI	-	۰/۳	۰/۵	۰/۵	۰/۲	۰/۴	-	-	-	۰/۷۱	۰/۷۵	۰/۲۸
Total	۹۹/۶۱	۹۹/۵۵	۹۸/۷۵	۹۹/۴۶	۹۹/۳۶	۹۹/۳۶	۹۷/۹	۹۹/۱۳	۹۸/۶۷	۹۹/۷۹	۹۹/۱۶	۹۷/۶۴
Trace elements (ppm)												
Ni	۴	۷	۴	۹	۱۱	۹	-	-	-	-	-	-
Co	-	۴۳	۴۳	۴۵	۴۶	۵۳	-	-	-	-	-	-
Cr	۱	۵	۱۰	۹	۵	۱۰	-	-	-	-	-	-
Rb	۹۳	۱۸۴	۱۴۶	۱۹۸	۱۸۴	۱۹۵	۱۸۳	۱۳۶	۲۰۳	-	-	-
Sr	۴۶	۲۲	۵۹	۶۲	۰	۶	۱۴	۹	۶۵	-	-	-
Nb	۷	۲۴	۲۱	۱۳	۹۹	۷۹	۱۴	۱۴	۲۴	-	-	-
Th	۳	۳۲	۱۹	۲۱	۴۴	۳۹	-	-	-	-	-	-
U	۲	۱۸	۲۰	۱۵	۲۴	۲۰	۲	۱	۲	-	-	-
Zr	۱۳۳	۱۲۳	۱۴۰	۱۸۷	۴۰۵	۲۳۲	-	-	-	-	-	-
Y	۱۶	۲۴	۵۵	۲۱	۶۸	۶۲	-	-	-	-	-	-
Ce	۴	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

فرآیندهای ذوب و تفریق در نظر گرفته می‌شوند [۱۵]. از نظر ژئوشیمیایی این گرانیت‌ها هم در عناصر اصلی و هم کمیاب، ناهمسانی‌هایی را با گرانیت‌های کوهزایی هم‌چون برخوردار و مرتبط با زون‌های فروانش دارند. گرانیت قوشچی از نظر شاخص شاند پرآلکالین تا متا آلومین است و میانگین نسبت مولی A/NKC آن کم‌تر از یک است (جدول ۳) و در گروه گرانیتوئیدهای مرتبط با ریفت می‌باشد که می‌تواند شواهدی برای نوع A بودن گرانیت قوشچی باشد.

کانی‌سازی گرانیت‌های نوع A در مقایسه با نوع S و I معمولاً در مقیاس بسیار کوچک‌تری صورت می‌گیرد اما به دلیل رابطه آن با کانی‌سازی عناصری مانند Mo, Sn, W, Nb, Ta, REE, Be, Li و شناسایی آن‌ها حائز اهمیت است. در بسیاری از مناطق گرانیت‌های نوع A در رابطه زمانی و مکانی با لیتولوژی‌های تحت اشباع سیلیس و گاهی در ارتباط نزدیک با سنگ‌های مافیک هستند. ویژگی کلی گرانیتوئیدهای نوع A شامل [۱۵]:

بهنیا [۴] گرانیت قوشچی را مورد بررسی قرار داده و به این نتیجه رسیده است که این گرانیت‌ها از نوع غیرکوهزایی و تیپ A هستند. در بررسی ایشان مقدار Nb بیش از ۲۰ ppm و از آن مقدار Rb بیش از ۹۰ ppm به دست آمده که از ویژگی‌های گرانیت‌های نوع داخل ورقه پوسته‌ای (WPG) می‌باشد [۴]. این گرانیت‌ها معادل گرانیتوئیدهای غیرکوهزایی هستند. جهانگیری نیز این گرانیت را از نوع غیرکوهزایی و تیپ A دانسته است [۷]. بهنیا [۴] قائل به رخداد یک متاسوماتیسم آلکالین ناشی از فاز سیال غنی از پتاسیم و سیلیسیم که عامل متاسوماتیسم سنگ‌های پوسته‌ای موجود بوده، شده است. چنین ساز و کاری در یک محیط کششی و ریفتی روی داده است. گرانیت‌های نوع A مشهور به گرانیت‌های غیر کوهزایی به طور معمول طی تحولات دوره‌های بالآمدگی و ایجاد ریفت پی آمد آن (محیط کششی) پدیدار می‌شوند؛ که در محدوده گرانیت‌های آلکالین و حاصل ذوب بخشی سنگ‌های پوسته‌ای یا تفریق ماگمای بازالتی و یا اختلاط

ارتوکلاز به رنگ صورتی دیده می‌شود. در برخی نقاط این گرانیت بافتی درشت‌دانه پیدا می‌کند و بافت‌های پگماتیستی را نیز می‌توان در بعضی جاها شاهد بود. این توده توسط دایک‌هایی با ترکیب مافیک بریده شده است. سبزی این دایک‌ها کم بوده و بیشینه آن به پنج متر می‌رسد. گرانیت قوشچی در شمال خاور آبادی قره‌باغ به درون توده نفوذی بازی با ترکیب گابرویی نفوذ کرده است. در میان توده گابرویی آپوفیزهایی از گرانیت، دایک‌های آپلیتی و رگه‌های سیلیسی که با توده نفوذی گرانیتی در پیوند هستند، یافت می‌شود. هم‌چنین در شکستگی درون گابروها، دایک‌هایی با ترکیب ریولیتی جای گرفته‌اند. در شمال باختر آبادی قره‌باغ توده، به نسبت کوچکی درون توده اصلی و نیز سنگ‌های میکاشیستی جای گرفته که از نوع گرانیت بیوتیت‌دار است و در سطح هوازده به رنگ سفید خود را می‌نمایاند. گرانیت سفید رنگ از نظر بافتی ریزدانه تا پورفیری است و به نظر می‌رسد که از نظر چگونگی استقرار در زمان نفوذ در عمق کم‌تری نسبت به توده اصلی جای‌گرفته است [۳].

۱- محیط‌های غیرکوهزایی  
 ۲- محتوای ساب‌آلکان تا پرآلکان و گاهی پرآلومین  
 ۳- نسبت بالای  $FeO_7/MgO$   
 ۴- برای سنگ‌های با محتوای سیلیس متوسط، گرانیتوئیدهای نوع A معمولاً محتوای قلیایی بالا و  $CaO$  پایین‌تری نسبت به سایر گرانیتوئیدها دارد.  
 ۵- ویژگی کانی‌شناسی، شامل سیلیکات‌های مافیک غنی از آهن (انیت، فایلیت، فروهدنبرژیت) و در محیط‌های پرآلکان، سیلیکات‌های مافیک غنی از آهن (اژیرین، آرفدسونیت، ریبکیت) و فلدسپارهای پرتیتیک است.

این توده نفوذی به لحاظ بافتی و تا حدودی ترکیب سنگ‌شناسی در همه بخش‌های آن یکپارچه نیست. توده اصلی که بیش از ۹۰ درصد از حجم کل را شامل می‌شود، گرانیت درشت‌دانه و به رنگ صورتی است که در بیش‌تر جاها خردشدگی، دگرسانی و فرسایش شدیدی را متحمل شده است [۲]. این توده بافت‌دانه‌ای (گرانولار) دارد و بطور عمده از کانی‌های ارتوکلاز، کوارتز و پلاژیوکلاز تشکیل شده است. این گرانیت به دلیل فراوانی کانی‌های

جدول ۳. مقایسه گرانیت قوشچی با گرانیتوئیدهای مرتبط با ریفیت [۱۶]

خصوصیات	RRG	گرانیت قوشچی
$SiO_2$	۷۸-۷۲	۷۵/۳۵
شاخص شاند	پرآلکان- پرآلومین	پرآلکان تا متا آلومین
$Na_2O/CaO$	۲۵-۲	۳/۵
$Na_2O/K_2O$	۱-۰/۷	۰/۷۵
$MgO/FeO$	۰/۲-۰	۰/۱۵
$Al_2O_3/Na_2O+K_2O$	۷/۵-۰	۰/۱۴
$Al_2O_3/Na_2O+K_2O+CaO$	کم‌تر از ۱/۱	۰/۸۷

عیارهای به دست آمده برای مس در این نمونه‌ها در محدوده ۰/۵۲۶ تا ۱۵/۴ گرم در تن در نوسان است. مقادیر فلز روی هم در بازه ۴۴ تا ۱۸/۱ گرم در تن تغییر می‌کند.

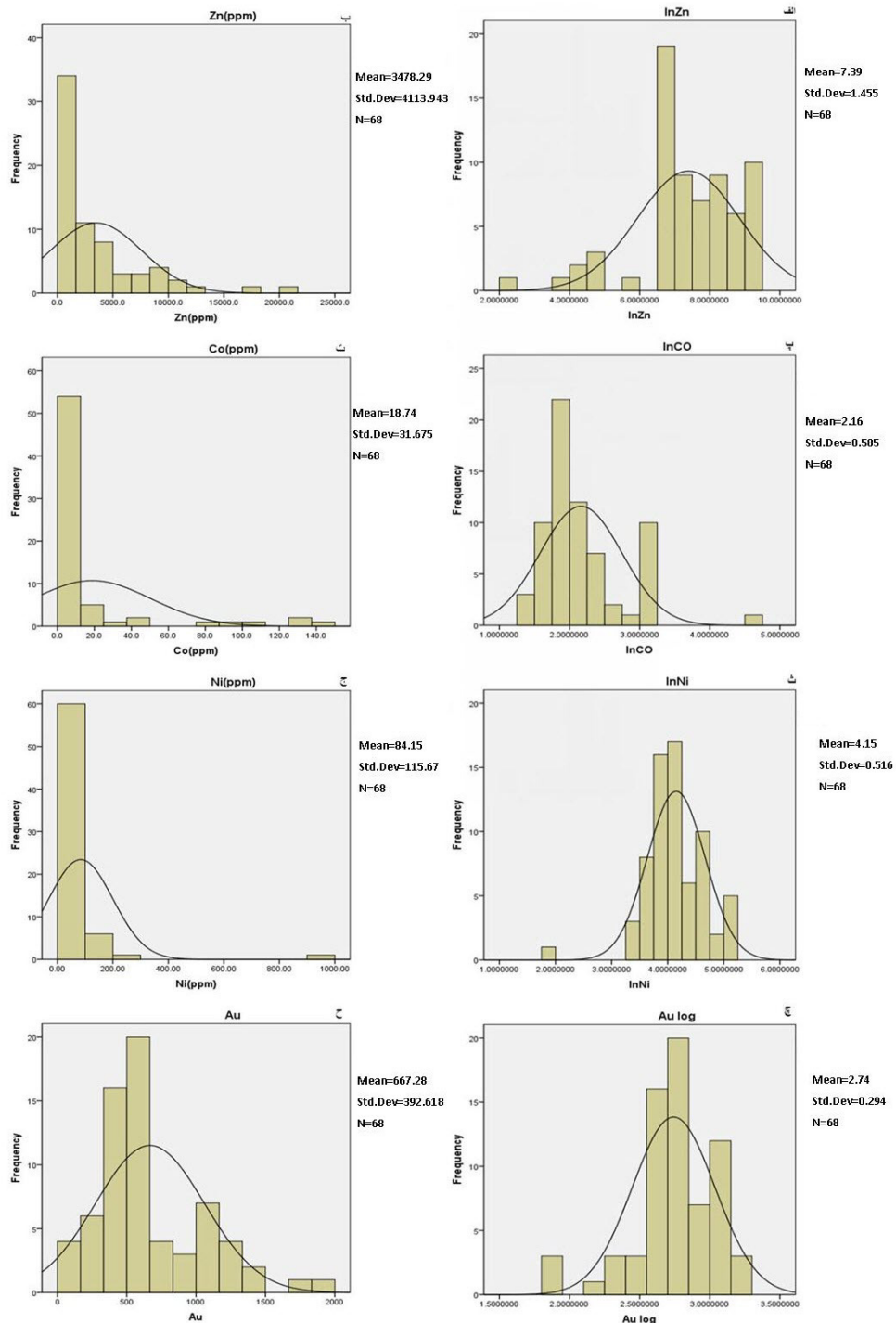
به منظور انجام محاسبات تک‌متغیره روی داده‌ها از نرم‌افزار SPSS استفاده شده است. که ابتدا داده‌های سنسورد با استفاده از روش جاگذاری ساده جایگزین شدند. در این روش مقادیر بزرگ‌تر از حد حساسیت در مرز بالایی را ۴/۳ حد بالایی حساسیت و مقادیر کمتر از حد حساسیت در مرز پایینی را با ۳/۴ آن جایگزین می‌نمایند [۲۲].

### لیتوزئوشیمی

در این پژوهش، بررسی‌های ژئوشیمیایی بر پایه آنالیزهای شیمیایی انجام گرفته بر روی ۷۰ نمونه لیتوزئوشیمیایی انجام گرفته است. برای هر یک از این نمونه‌ها ۸ عنصر  $Au, Mo, As, Co, Ni, Pb, Cu, Zn$  مورد آنالیز قرار گرفته‌اند. محاسبات آماری انجام گرفته روی داده‌ها شامل روش‌های آماری تک‌متغیره چندمتغیره است. با توجه به تعداد زیاد نمونه‌های ژئوشیمیایی، نتایج آنالیز شیمیایی تعداد ۱۰ نمونه لیتوزئوشیمیایی انتخابی در جدول ۴ آورده شده است. مقادیر طلا در زون کانه‌دار در محدوده ۰/۳۹ تا ۱/۴۶ گرم در تن شده تغییر می‌کند. میانگین این عنصر ۰/۶۷ گرم در تن به دست آمده است.

بایند که گام اول در این مرحله تعیین مقادیر خارج از رده و تعدیل آن‌ها است. نمودار مربوط به توزیع عناصر مربوط به داده‌های خام و نرمال برخی عناصر در شکل ۱۲ آورده شده است.

بررسی این هیستوگرام‌ها و نمودارها نشان می‌دهد که همه عناصر دارای شکل غیر متقارن و حالت غیر نرمال می‌باشند. بنابراین جهت ادامه پردازش و تعیین همبستگی‌ها و آنالیز فاکتوری و همچنین جدا کردن مقادیر زمینه از آنومالی این نتایج باید به صورت نرمال در



شکل ۱۲. هیستوگرام فراوانی عناصر Zn, Co, Ni, Au قبل (سمت چپ) و بعد از نرمال‌سازی (سمت راست)

جدول ۴. نتایج تجزیه شیمیایی تعداد ۱۰ نمونه معرف از زون‌های کانه‌دار

Sample no.	G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7	G8	G9	G10
Au (ppb)	۳۹۰	۶۱۰	۱۱۳۰	۴۲۰	۱۱۳۰	۵۲۰	۱۸۷۰	۶۳۰	۸۴۰	۱۴۶۰
Co (ppm)	۱۲۸	۷	۱۰۸	۱۲۹	۳۹	۳۱	۴۷	۱۴۶	۱۳	۱۱
Ni (ppm)	۱۰۰	۴۱	۱۱۴	۹۷۰	۱۳۰	۹۳	۲۲۶	۹۲	۴۳	۱۸۱
Cu (ppm)	۵۲۶	۲۷۲	۵۱۵	۱۳۱۲۵	۱۳۷۲۸	۱۳۷۹	۱۶۷۴۹	۱۴۴۱۸	۹۳۳	۱۵۴۸۶
As (ppm)	۳۳	۱۰	۳۶	۸۶	۲۸	۳۴	۲۹	۲۳	۲۳	
Pb (ppm)	۲۹	۶	۷۵	۱۳	۲۱	۱۳	۸	۵۵	۳۶	۲۵
Mo (ppm)	۱۱	۱	۱۹	۱۳	۴	۱۳	۴	۱۴	۱	۳
Zn (ppm)	۸۲۱۶	۷۲۷۳	۱۷۸۹	۴۰۴۲	۱۶۶۶	۲۷۰۸	۲۰۱۷۴	۹۱۲۶	۴۴	۱۸۱۹۲

۰/۵۳ دارد. Co با As, Ni, Cu, Mo به ترتیب دارای همبستگی‌های ۰/۷۳، ۰/۷۲، ۰/۵۵، ۰/۵۱ و ۰/۵۹ است. As با عناصر Co, Ni, Pb, Mo دارای همبستگی ۰/۷۲، ۰/۵۳، ۰/۵۸ و ۰/۵۷ است. Mo با عناصر As, Pb, Cu, Au دارای همبستگی ۰/۵۴، ۰/۵۷، ۰/۵۹ و ۰/۵۱ است.

برای تعیین میزان ارتباط معنی‌دار بین متغیرهای آماری عناصر مختلف، ضرایب همبستگی بین آن‌ها محاسبه شده است (جدول ۵).  
با توجه به ضرایب همبستگی بین جفت متغیرهای مورد بررسی، عنصر Au با Mo همبستگی متوسط با مقدار

جدول ۵. جدول ضرایب همبستگی اسپیرمن

همبستگی اسپیرمن	Au	Co	Ni	Cu	As	Pb	Mo	Zn
Au (ppb)	۱							
Co (ppm)	۰/۴۲۲	۱						
Ni (ppm)	۰/۴۸۸	۰/۵۲۵	۱					
Cu (ppm)	۰/۴۲۷	۰/۵۳۳	۰/۴۲۷	۱				
As (ppm)	۰/۴۰۶	۰/۶۷۹	۰/۴۹۹	۰/۴۴۱	۱			
Pb (ppm)	۰/۴۰۷	۰/۷۳۱	۰/۳۵۱	۰/۵۳۴	۰/۵۵۸	۱		
Mo (ppm)	۰/۵۳۱	۰/۵۴۷	۰/۵۳۸	۰/۴۱۳	۰/۵۹۱	۰/۶۶۵	۱	
Zn (ppm)	۰/۱۸۹	۰/۲۳۵	۰/۴۱۹	۰/۳۳۵	۰/۴۲۳	۰/۵۲۳	۰/۴۹۵	۱

همبستگی در سطح ۰/۰۱ معنی دار است.

الف- محاسبه ماتریس ضرایب همبستگی بین متغیرها  
ب- تعیین متغیرهایی که به نظر می‌رسد وابستگی ضعیفی با سایر متغیرها دارند (با استخراج مؤلفه‌ها).  
ج- تعیین تعداد مؤلفه‌ها و روش محاسبه آن‌ها د- دوران و اعمال تبدیلاتی خاص بر روی مؤلفه‌ها برای آن که روابط میان داده‌ها بهتر توصیف شود [۹].

با توجه نتیجه آنالیز مؤلفه‌های اصلی (جدول ۶) سه فاکتور اصلی در کانی‌سازی صورت گرفته در منطقه شناسایی شد که عبارتند از:

فاکتور اول: این فاکتور بیش‌تر تحت تأثیر عناصر As, Co, Ni می‌باشد.

فاکتور دوم: این فاکتور تحت تأثیر عناصر Cu, Zn می‌باشد.

فاکتور سوم: این فاکتور تحت تأثیر Au, Mo, Pb می‌باشد.

### بررسی آماری چند متغیره

در اینجا از دو روش آنالیز فاکتوری (تجزیه عاملی) و آنالیز خوشه‌ای به منظور شناسایی فاکتورهای مهم در کانی‌سازی و نیز شناسایی میزان شباهت متغیرها (عناصر) با یکدیگر استفاده شده است.

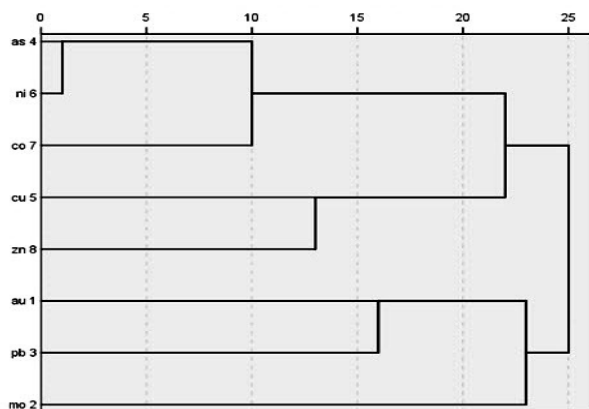
آنالیز فاکتوری یکی از روش‌های آماری برای تجزیه اطلاعات موجود در مجموعه داده‌ها است. در این روش متغیرها در عامل‌هایی قرار می‌گیرند، به طوری که از عامل اول به عامل‌های بعدی درصد واریانس کاهش می‌یابد، از این رو متغیرهایی که در عامل‌های اولی قرار می‌گیرند، تاثیر گذارترین هستند. تجزیه عاملی در واقع گسترش تجزیه مؤلفه اصلی است. برای استخراج عامل‌ها در اینجا از روش تجزیه مؤلفه‌های اصلی استفاده شده است. آنالیز مؤلفه اصلی شامل مراحل زیر است:

Ni-گروه دوم: شامل عناصر Cu, Zn- گروه سوم: شامل Au, Mo, Pb. همان طور که مشاهده می‌شود، نتایج آنالیز خوشه‌ای و آنالیز فاکتوری کاملاً یکدیگر را تصدیق می‌کنند. وجود این سه خوشه که شامل عناصر مختلف است، احتمالاً انعکاسی از تغییر دمای کانی‌سازی در بخش‌های مختلف زون کانه‌دار است که به نوبه خود می‌تواند معرف وجود منطقه‌بندی در کانی‌سازی باشد.

فاکتور اول با اختصاص ۴۲/۱۸۳ درصد واریانس کل به خود، اصلی‌ترین فاکتور کانی‌سازی در منطقه محسوب می‌شود. آنالیز خوشه‌ای یک روش آماری چند متغیره است که عناصر را بر اساس شباهت تغییرپذیری بین آن‌ها در قالب دسته‌ها یا گروه‌هایی طبقه‌بندی می‌کند. نتایج حاصل از آنالیز خوشه‌ای (شکل ۱۳) موجب جدایش سه گروه زیر شده است: گروه اول: شامل عناصر As, Co,

جدول ۶: نتایج آنالیز فاکتوری جهت مشخص کردن عناصر مربوط به هر یک از فاکتورها (ماتریس اجزاء دورانی)

تشکیل دهنده‌ها			
اعضا	۱	۲	۳
Au	۰/۳۸	۰/۵۰۷	۰/۷۴۷
Co	۰/۸۱۹	۰/۰۱۲	۰/۳۱۷
Ni	۰/۸۸۲	۰/۲۰۴	۰/۰۴۵
Cu	۰/۲۹۷	۰/۸۲۵	۰/۰۸۲
As	۰/۶۶۶	۰/۳۴۵	۰/۰۹۶
Pb	۰/۴۲۱	۰/۱۰۶	۰/۶۷۴
Mo	۰/۰۰۷	۰/۰۴۱	۰/۷۲۷
Zn	۰/۰۹۱	۰/۸۳۰	۰/۰۵۲



شکل ۱۳. نمودار آنالیز خوشه‌ای بر اساس داده‌های نرمال

سیلیسی - پیریتی با ساخت استوکورک روی داده است؛ که کانی‌های سولفیدی اصلی پیریت و ملنکویت بوده و آرسنوپیریت، کالکوپیریت، مولیبدنیت، گالن و اسفالریت کانی‌های فرعی می‌باشند. بررسی‌های کانی‌شناسی به روش‌های میکروسکوپی و ریزکاواالکترونی گویای آن است که طلا در پیریت‌های موجود در سنگ‌های به شدت سیلیسی شده تمرکز پیدا کرده است.

### بحث و نتیجه‌گیری

به دنبال نفوذ توده‌ی گرانیت قلیایی قوشچی به درون سنگ‌های دگرگونی ناحیه، متاسوماتیسم و دگرسانی در سنگ‌های درونگیر روی داده که با کانی‌سازی همراه بوده است. بنابراین سنگ‌های دگرگونی که در مجاورت توده گرانیتی قرار گرفته‌اند، سنگ درونگیر کانی‌سازی به شمار می‌رود. کانی‌سازی مس-طلا- مولیبدن در زون‌های

لیگندهایی را برای کمپلکس‌سازی با طلا، انتقال و نهشت طلا را فراهم سازد [۱۷].

با توجه به نتایج به دست آمده از بررسی‌های انجام گرفته، زون‌های کانه‌دار و دگرسان این منطقه می‌تواند اهداف اکتشافی مفیدی برای بررسی‌های آتی باشد. بررسی سیالات درگیر به منظور تعیین ماهیت سیال کانه‌دار و نیز تعیین دمای کانی‌سازی، نمونه‌برداری نظام‌دار در زون‌های کانه‌دار و بررسی‌های ژئوشیمیایی و نیز حفاری اکتشافی در مراکز ناهنجاری‌های ژئوشیمیایی به منظور امکان مطالعه زون کانه‌دار در ترازهای پایین‌تر از زون هوازدگی و اکسیداسیون برای انجام مطالعات آتی پیشنهاد می‌شود.

### منابع

- [۱] آقائباتی، ع (۱۳۸۳) زمین‌شناسی ایران، انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۵۸۶ ص.
- [۲] امامعلی‌پور، ع (۱۳۸۳) بررسی ژئوشیمیایی توده‌های گرانیتوئیدی و ارائه مدل ژئودینامیکی جایگیری آن‌ها در ناحیه شمال و جنوب شهرستان ارومیه، طرح تحقیقاتی داخلی دانشگاه ارومیه.
- [۳] امامعلی‌پور، ع (۱۳۸۷) بررسی فلززایی ذخایر معدنی در گستره استان آذربایجان غربی، طرح مصوب حوزه پژوهشی دانشگاه ارومیه.
- [۴] بهنیا، پ (۱۳۷۴) پتروژنز گرانیت قوشچی فرآیندی از متاسوماتیسم آلکان، رساله دوره کارشناسی‌ارشد رشته پترولوژی، دانشکده علوم دانشگاه تهران
- [۵] قدیرزاده، ا. رواقی، ا (۱۳۹۰) گزارش عملیات اکتشافی لیتوژئوشیمیایی منطقه آق‌زیارت سلماس، مقیاس ۱:۱۰۰۰.
- [۶] خدابنده، ع. هاشم امامی، م. نقشه زمین‌شناسی سلماس، مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰.
- [۷] جهانگیری، ا (۱۳۷۰) بررسی پترولوژی و ژئوشیمیایی گرانیت‌های منطقه قوشچی، رساله کارشناسی‌ارشد رشته پترولوژی، دانشکده علوم دانشگاه تبریز.
- [۸] حسنی‌پاک، ع. ا. شرف‌الدین (۱۳۸۴) تحلیل داده‌های اکتشافی، انتشارات دانشگاه تهران.
- [۹] چاهوکی، ز (۱۳۸۹) روش‌های تحلیل چند متغیره در نرم‌افزار SPSS.
- [۱۰] شرکت کاوش کانی مهاجر (۱۳۹۰) گزارش اکتشافی منطقه آق‌زیارت سلماس.

[11] Batchelor, R.A. and Bowden, P (1985)  
"Petrogenetic interpretation of granitoid rocks

با توجه به همراهی مولیبدن و طلا، و همبستگی خوب این دو عنصر با یکدیگر، وجود آرسنیک در فاز آرسنوپیریت و هم‌چنین همبستگی عناصر As, Mo, Ni, Cu احتمال می‌رود که کانی‌سازی موجود، از نوع گرمایی دما بالا باشد که البته تایید این موضوع نیاز به بررسی‌های زمین‌دماسنجی سیال‌های درگیر دارد. بر پایه بررسی‌های لیتوژئوشیمیایی به روش آنالیز فاکتوری سه فاکتور اصلی تشخیص داده شده است. فاکتور اول شامل As-Ni-Co فاکتور دوم عناصر Cu-Zn و فاکتور سوم شامل Au-Mo-Pb هستند. فاکتور اول با اختصاص ۴۲/۱۸۳ درصد واریانس کل به خود، اصلی‌ترین فاکتور کانی‌سازی در منطقه محسوب می‌شود. نتیجه حاصل از آنالیز خوشه ای با فاکتورهای کانی‌سازی حاصل از آنالیز فاکتوری مطابقت دارد.

کانی‌سازی طلا- مولیبدن در ناحیه مورد بررسی با کانی‌سازی طلا در Ad Duwayhi در عربستان سعودی قابل مقایسه است، که کانی‌سازی در هر دو منطقه در پیوند با گرانیت‌های نوع A مرتبط با ریفت اتفاق افتاده است. هر چند که کانی‌سازی در این منطقه در مقیاس کوچک‌تری روی داده است. در ناحیه Ad Duwayhi، کانی‌سازی وابستگی زمانی و مکانی با جایگیری گرانیت پس کوهزایی درون‌صفحه‌ای دارد، و آلتراسیون‌های سرسیتی و بیوتیتی در نتیجه کانی‌سازی گرمایی حاصل شده و آلتراسیون سرسیتی مقارن با کانی‌سازی طلا روی داده است. توالی پارائزنی در این کانی‌سازی شامل ۱- رگه‌های کوارتز-مولیبدنیت در داخل و نزدیک استوک گرانیتی، ۲- رگه‌های برشی کوارتزی حاوی طلای کم‌عیار در داخل و حاشیه استوک گرانیتی، ۳- استوک‌ورک‌های طلا‌دار و رگه‌های ورقه‌ای کوارتز و ۴- رگه‌های مسطح کوارتزی غنی از طلا توده‌ای تا نواری شکل است [۱۴].

از مطالعه انواع نهشته‌های طلا در رابطه با سنگ‌های آلکان رابطه ژنتیکی زیر را پیشنهاد شده است: ۱- ماگمای آلکان اصلی ممکن است منشا ذوب‌بخشی گوشته‌ای داشته و در محل‌هایی که مربوط به سیستم‌های گسلی نفوذی عمیق در پوسته است، بیرون زده باشد. ۲- طلا ممکن است بوسیله ماگمای آلکان مافیک از گوشته عمیق حمل و منتقل شده باشد. ۳- محتوای بالای مواد فرار ماگما‌های آلکان می‌تواند

- series using multicationic parameters", *Chem. Geol.*, 48: pp. 43-55.
- [12] Bonin, B (2007) "A-type granites and related rocks: evolution of a concept, problems and prospects", *Lithos* 97, pp.1-29.
- [13] Cox K. G., Bell J. D., Pankhurst R. J (1979) "The Interpretation of Igneous Rocks", George Allen and Unwin, London,450.
- [14] Doebrich.J.L., Zahony.S.G., Leavitt. J.D., PORTACIO.J.S., Siddiqui.A.A., Wooden.J.L., Fleck. R.J., Stein.H.J (2004) "Ad Duwayhi, Saudi Arabia: Geology and Geochronology of a Neoproterozoic Intrusion-Related Gold System in the Arabian Shield" .
- [15] Eby.G.N (2011) "A-type granites: characteristics, petrogenesis and their contribution to the growth of the continental crust ".
- [16] Maniar, P.D. and Piccoli. P (1989) "Tectonic discrimination of granitoids ,*Geolsoc of Amer*"., *Bull.*, 101, pp. 635-643.
- [17] Mutschler.F.E., Larson.E.E., Michael L.Ross. M.L (1997) "Potential for Alkaline Igneous Rock-Related Gold Deposits in the Colorado Plateau Laccolithic Centers".
- [18] Pohl, W. L (2001) "Economic geology, principles and practice", *Welly-Blackwell* ,pp.663.
- [19] Shafaii Moghadam, H. et. Al (2015) "Petrogenesis and tectonic implications of late Carboniferous A-type granites and gabronorites in NW Iran: Geochronological and geochemical constraints, *Lithos*, 212-215,pp. 266-279.
- [20] Shand S. J (1943) "Eruptive Rocks; Their Genesis, Composition, Classification and their Relation to Ore deposite", with a chapter on Meteorites (revised second edition): Hafner Publishing Co., New York 444p.
- [21] Sun S.S.,McDonough W.F (1989) "Chemical and isotopic systematic of ocean baslts: Implication for mantle composition and processes", In: Saunders, A.D., Norry, M.j., (Eds.), *Magmatism in Ocean Basins*. Geological Society of London, Special publication 42:pp.131-345.
- [22] Sanford, R.F., Pierson, C.T., Crovelli, R.A(1993) "An objective replacement method for cen-sored geochemical data. *Math*". *Geol.* 25:pp. 59-80.



## Geology and geochemistry studies of mineralizations associated with the Agh Ziarat alkaline granite, southeastern Salmas, NW Iran

A. Bigdeli<sup>\*1</sup> and A. Imamipour<sup>2</sup>

1,2- Dept. of mining engineering, University of Urmia, Urmia

\* adian.bigdelii@gmail.com

Received: 2015/7/30 Accepted: 2016/5/9

### Abstract

Agh Ziarat area is situated in the southeastern of the Salmas city. The important lithologic outcrops in this area are intrusive bodies well known as Qushchi granite which are late Carboniferous in age. Geochemically, these intrusive bodies have alkaline affinity and most likely classified as A-type granites. Moreover, a syenite body has cut this granite. The intrusion of granite body, into the regional metamorphic rocks, has led to the metasomatism, alteration and mineralization processes. The Cu-Au-Mo mineralization has occurred in the pyrite-silica zones which have stockwork structure. Pyrite and melnikovite are the main sulfide minerals in altered zone. Arsenopyrite, chalcopyrite, sphalerite and galena are found in minor amounts. Microprobe mineralogical study indicates that gold has concentrated in pyrite within strongly silicified rocks. Average value of Au have obtained as 670 ppb in 70 lithochemical samples collected from mineralized zones and their maximum amount reach to 1.8 ppm. Au has a positive correlation coefficient with Mo (0.53). As is correlated with Co, Ni, Pb and Mo by the values 0.72, 0.53, 0.58, 0.57, respectively. Based on the geochemical factor analysis method three major factors are involved in mineralization. First factor includes As, Co, Ni, the second factor is Zn and Cu, and the third factor is Au, Mo and Pb.

**Keywords:** Mineralization; Geochemistry; Alkaline Granite; Agh Ziarat.