

## سنگ‌نگاری، ژئوشیمی و شیمی کانی‌های استتوک پورفیری استرقان، خاروانا، آذربایجان شرقی

رسول فردوسی<sup>\*</sup>، علی اصغر کلاگری، محمد رضا حسین‌زاده، کمال سیاه چشم

گروه علوم زمین، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز، تبریز ۴۶۶۶۵، ایران

(دریافت مقاله: ۹۳/۱۰/۱۵، نسخه نهایی: ۹۴/۱/۲۵)

چکیده: ذخیره مس- طلای استرقان در ۵۰ کیلومتری شمال تبریز، جنوب شرقی خاروانا در استان آذربایجان شرقی، قرار گرفته است. مهم‌ترین واحدهای سنگ شناختی منطقه توده‌های نفوذی به فرم استتوک (الیگومیوسن) و توالی سنگ‌های فلیش گونه مرکب از سنگ آهک، ماسه سنگ آهکی و مارن (پالتوسن- اثوسن) هستند. ترکیب پلازیوکلازها از الیگوکلاز تا آندزین متغیر بوده و پتاسیم فلدسپارها بیشتر ارتوز هستند. آمفیبولها بیشتر از نوع کلسیک بوده و ترکیب شیمیابی آن‌ها در گسترده‌ی مگنزیوهوستینگزیت تا ادنیت قرار می‌گیرد. این توده از گرانیت‌های نوع I، پر آلمینوس و به گروه آهکی قلیایی با پتاسیم بالا و شوشومنیتی که به قوس‌های آتشفشاری پسابرخوردی وابسته‌اند. غنی شدگی در عناصر La, Cs, Pb, Zr, Rb, Nd, U, Pr, Ta, Nb, Hg و Te می‌باشد. در عناصر Ce و As، Bi و Sb نظیری در محدوده می‌شود، و REE غنی شدگی نشان می‌دهند. بررسی‌های ریزپردازش الکترونی کانه‌ها، حضور طلای طبیعی همراه با کانی‌های سولفیدی (استیبنیت و تتراهریت) و رگچه‌های کوارتزی را ثابت می‌کنند. بیشترین محتواهای طلا در شبکه، سولفosalat‌ها و کانه‌های سولفیدی با دمای پایین نظیر استیبنیت است. حضور مقداری بالای عناصر ردیاب طلا نظیر Sb در کانه‌های منطقه‌ی مورده بررسی، با هاله‌های ژئوشیمیابی این عناصر همخوانی دارد که نشان دهنده‌ی تشکیل این کانه‌ها در دمای پائین است.

واژه‌های کلیدی: سنگ‌نگاری؛ ژئوشیمی؛ شیمی کانی‌های؛ استرقان؛ آذربایجان شرقی.

Electron Probe Micro-(analysis) بررسی‌های ریزپردازش الکترونی (analysis) به ویژگی‌های سنگ‌شناسی و زمین‌ساختی، کانی‌شناختی و دیگر جنبه‌های زمین‌ساختی استتوک پورفیری استرقان پرداخته شود.

زمین‌شناسی عمومی منطقه‌ی مورده بررسی منطقه‌ی استرقان در ۵۰ کیلومتری شمال تبریز بین عرض‌های شمالی ۲۲° ۳۱' ۴۹" تا ۳۱° ۳۸' ۴۷" و طول‌های شرقی ۱۱° ۱۶' ۴۶" تا ۲۰° ۱۸' ۴۷" قرار دارد. این منطقه بخشی از منطقه‌ی زمین‌ساختی البرز- آذربایجان بوده و در جنوب

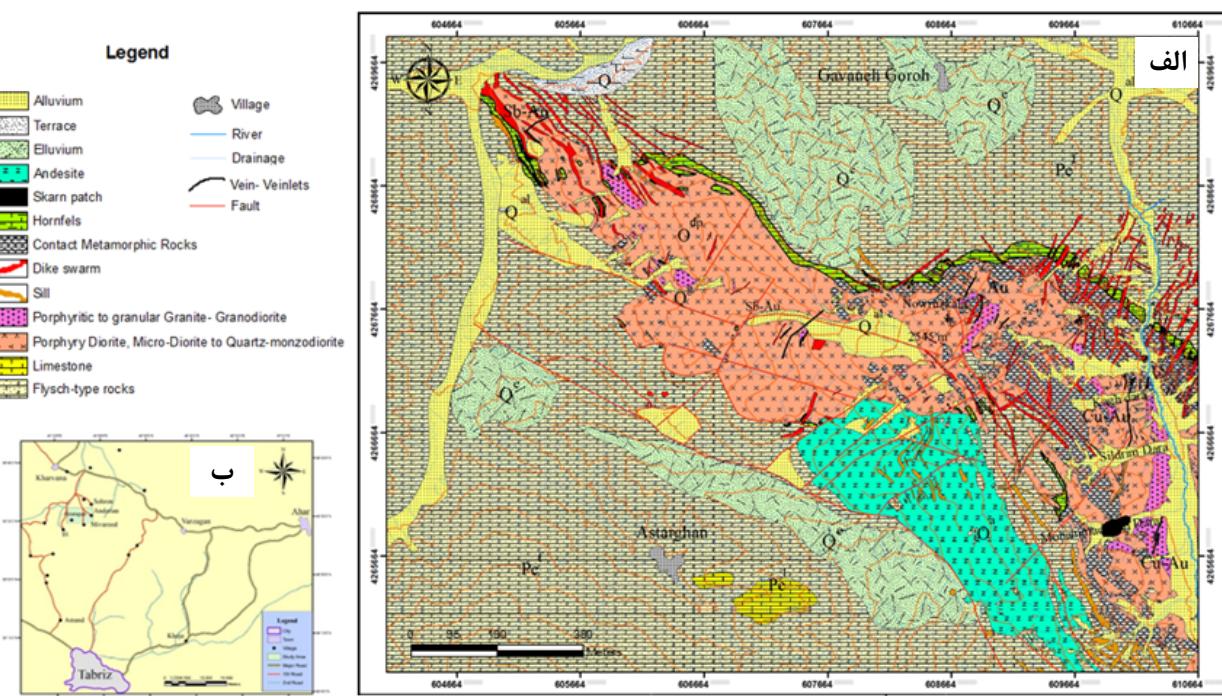
### مقدمه

منطقه‌ی فلزی‌ای ارسباران بواسطه‌ی برونزدهای گسترده سنگ‌های رسوی فیلیشی پالتوسن و سنگ‌های آتشفشاری و پلوتونیک اثوسن- میوسن شناخته می‌شود. کانسارهای Cu-Mo پورفیری (و کانسارهای Pb-Zn-Ag-Au همراه آن‌ها) در این منطقه بیشتر در گرانیت‌وئیدهای نوع I گسترش یافته‌اند و عموماً با سمت اقیانوسی محل فرورانش و منطقه‌های پسابرخوردی وابسته هستند [۱-۳]. منطقه‌ی مورده بررسی بخشی از منطقه‌ی فلزی‌ای ارسباران را تشکیل می‌دهد. در این مقاله سعی شده است تا با بررسی‌های سنگ‌نگاری، ژئوشیمی و

\*نویسنده مسئول، تلفن: ۰۹۱۴۹۱۳۲۵۵۷، نامبر: ۰۴۱ (۳۳۳۹۲۷۰۳)، پست الکترونیکی: R\_ferdosi@tabrizu.ac.ir

تحت تأثیر فاز کوهزایی پیرینین به شدت دستخوش چین خوردگی شده و طاقدیس‌ها و ناویدیس‌های متعددی به وجود آورده‌اند. واحدهای سنگی آذربین شامل یک توده‌ی نفوذی نیمه عمیق با بافت پورفیری تا دانه‌ای و ترکیب مودال گرانوپیوریتی - میکرو دیوریتی تا مونزوندیوریتی هستند. با توجه به روابط چینه شناختی در خاروانا و توده‌های مشابه در مناطق مجاور، می‌توان سنی معادل الیگوسن را برای این توده‌ی نفوذی در نظر گرفت. دایک‌ها پس از توده‌ی نفوذی از مهمترین تظاهرات آذربین در منطقه بوده و ترکیب غالب میکرو دیوریت و میکرو آذربین دیوریت نشان می‌دهند. نفوذ این توده نفوذی و دایک-ها و سیل‌های مرتبط با آن، سبب دگرگونی مجاورتی و دگرنهادی گسترده‌ای در سنگ میزبان و ایجاد زون‌های متاسوماتیتی شامل اندو اسکارن محدود در داخل توده و اکرواسکارن گسترده پیرامون برخوردگاه شده است. کانی سازی فلزات پایه و گرانیتها در منطقه، بیشتر به صورت رگه- رگچه‌ای، داربستی، شکافه پرکن و پراکنده در داخل توده‌ی نفوذی رخ داده است.

ورقهی ۱:۱۰۰۰۰ سیه رود واقع شده است. از بررسی‌های مقدماتی انجام گرفته پیرامون منطقه‌ی استرقالن علاوه، بر اجرای چندین طرح پروژه پی‌جوبی از سوی شرکت منطقه‌ای معادن آذربایجان (زیرین داغ آستارکان)، می‌توان به بررسی‌های [۴] در زمینه‌ی زمین‌شناسی، ژئوشیمی و تعیین شکل‌گیری احتمالی منطقه میوه رود، همچنین [۵] در مورد بررسی سنگ-‌شناسی و ژئوشیمی سنگ‌های آذرین و دگرگونی منطقه‌ی میوه رود (شرق خاروانا) و بررسی‌های [۶] در مورد زمین‌شناسی اقتصادی، منطقه‌های دگرسانی و کانه‌زایی و راگرمایی بوزلوخ- قره داش، در قالب پایان‌نامه کارشناسی ارشد اشاره کرد. بر اساس بررسی‌های زمین‌شناسی انجام گرفته، واحدهای اصلی در منطقه شامل واحدهای رسوبی (فیلیشی) پالئوسن - ائوسن، واحدهای آذرین شامل مواد معدنی پورفیری، دایک‌ها و سیل‌ها و گذازهای دگرگونی شامل متاسوماتیت‌ها، هورنفلس و نهشته‌های کواترنر هستند (شکل ۱). قدیمی‌ترین واحد سنگی، شامل یک رشته فیلیشی (فلیشوئیدی) از ماسه سنگ آهکی تا آهک ماسه‌ای، همراه با میان لایه‌هایی از سیلتیتون، شیل و مارن به سن پالئوسن- ائوسن هستند. این رسوب‌ها



شکل ۱ نقشه‌ی زمین‌شناسی منطقه (الف) و راههای دسترسی به منطقه‌ی مورد بررسی (ب).

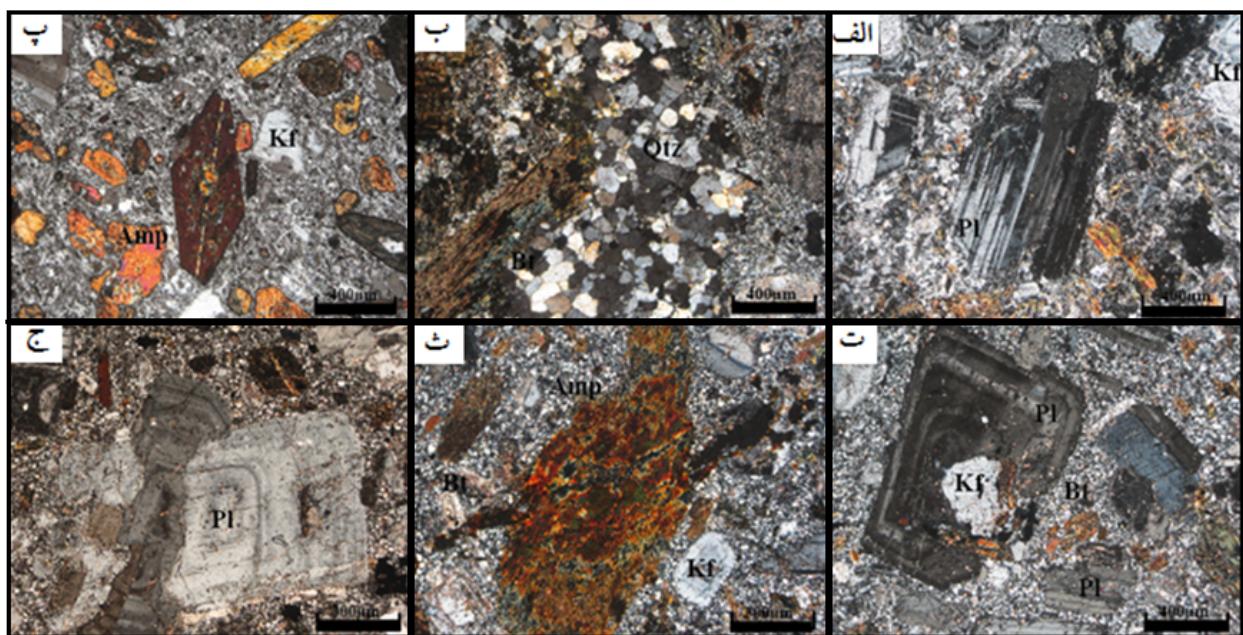
ریزپردازشی قرار گرفتند.

### بحث و بررسی سنگ نگاری

توده‌های پورفیری استرقان از نظر سنگ‌شناسی طیفی از کوارتز مونزونیت، گرانوودیوریت و کوارتز مونزودیوریت را تشکیل شده است. گرانوودیوریت که بخش بیشتر توده را تشکیل می‌دهد، ترکیبی نسبتاً همگن از پلازیوکلاز، کوارتز، بیوتیت و فلدسپار قلیایی است. پلازیوکلاز به صورت شکل دار تا نیمه شکل دار بوده و حدود (۵۰-۳۰٪) سنگ را تشکیل داده و در اثر دگرسانی به کانی‌های رسی تبدیل شده است (شکل ۲، الف). کوارتز ۲۰٪ تا ۳۵٪ به صورت بی‌شکل و ریز دانه تا میان دانه است. ارتوز حدود (۱۵-۸٪) حجمی سنگ را تشکیل می‌دهد که اغلب در متن سنگ حضور دارد که به کانی‌های رسی دگرسان شده‌اند. بیوتیت (۱۰-۵٪) به صورت میان دانه و نیمه شکل دار بوده و تحت تاثیر دگرسانی گرمابی به کلریت و اکسیدهای آهن تجزیه شده است. روتیل، هورنبلند و کانی‌های فرعی کدر را در این سنگ‌ها تشکیل می‌دهند. بافت غالب این سنگ‌ها پورفیری با خمیره‌ی فانریتیک است.

### روش بررسی

بررسی‌های صحرائی شامل تهیه‌ی نقشه‌های زمین‌شناسی از گستره‌ی مورد بررسی همراه با نمونه‌برداری از سنگ‌های میزبان، منطقه‌های دگرسانی و کانی‌سازی‌ها هستند. در بررسی‌های آزمایشگاهی نخست با تهیه و بررسی ۵۰ مقطع نازک از نمونه‌های سنگی دگرسان و غیر دگرسان و ۷۵ مقطع صیقلی از رگه‌های کانی‌ای برای بررسی‌های سنگ‌نگاری و کانی‌نگاری آغاز شد. تعداد ۱۲ نمونه از استوک پورفیری برای بررسی‌های ژئوشیمی سنگ کل انتخاب و عناصر اصلی، فرعی و کمیاب آن‌ها به روش ICP-MS و ICP-ES در آزمایشگاه ACME ونکوور کانادا، واکاوی شدند. برای شناسایی ترکیب شیمیایی دقیق کانی‌ها و کانه‌ها پس از بررسی‌های سنگ‌نگاری و کانی‌نگاری، ۸ مقطع صیقلی و نازک-صیقلی از نمونه‌های غیر دگرسان توده‌ی نفوذی و رگه-رگچه‌های کانی‌ساز با استفاده از ریز پردازش الکترونی EPMA مدل SX100 و (Energy Dispersive Spectrum) EDS ساخت شرکت Cameca فرانسه (۱۹۹۴) و در شرایط 20kev و 20nA و 20kev و 10nA و 20kev و 20nA و قطر پرتو ۵µm در مرکز تحقیقات و فرآوری مواد معدنی مورد بررسی



شکل ۲ تصاویر میکروسکوپی از واحدهای آذرین منطقه‌ی استرقان (Xpl). الف) فنوکریست پلازیوکلاز به همراه پتاسیم فلدسپار و بیوتیت در واحد گرانوودیوریتی. ب) رگچه‌ی سیلیسی با درشت بلور بیوتیت دگرسان شده به کلریت در واحد کوارتز مونزونیت. پ) انباشت بلورهای آمفیبول به همراه پتاسیم فلدسپار. ت) پتاسیم فلدسپار در داخل پلازیوکلاز در زمینه‌ای از کوارتز ریزدانه. ث) درشت بلور آمفیبول به همراه پتاسیم فلدسپار. ج) بلورهای پلازیوکلاز در واحد میکروودیوریتی. (Pl=پلازیوکلاز؛ Qtz=کوارتز؛ Amp=آمفیبول؛ Bt=آلکالی فلدسپار؛ Kf=بیوتیت).

دگرسانی پروپیلیتیک شده‌اند. کانه‌های بررسی شده عبارتند از پیریت (۱۵٪)، کالکوپیریت (۲۵٪)، استیبنیت (۳۵٪)، والنتینیت (۱۰٪)، سینابار (۵٪)، طلا (۲٪) و مس طبیعی (۵٪)، تراهدریت (۳۵٪)، تنانتیت (۵٪)، آرسنوبیریت (۵٪) و بورنیت (۱۰٪).

### ژئوشیمی توده‌ی پورفیری

نتایج آنالیز شیمیایی نمونه‌های وابسته به استوک پورفیری استرقان در جدول (۱) ارائه شده‌اند. به منظور رده بندی نمونه‌های وابسته به این توده از، نمودار [۷] استفاده شد. چنانکه مشاهده می‌شود نمونه‌های مورد آنالیز در گستره‌های کوارتز مونزونیت، گرانیت، کوارتز مونزودیوریت و گرانودیوریت قرار می‌گیرند (شکل ۳، الف). سنگ‌های مورد بررسی در نمودار تغییرات نسبت‌های مولکولی  $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$  در برابر (A/CNK vs. A/NK)  $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} + \text{CaO}$  [۸] بیشتر در قلمرو سنگ‌های پرآلومینیوس واقع می‌شوند (شکل ۳، ب). در نمودار Co نسبت به Th [۹] که از عنصر غیر متحرك استفاده شده است، تمامی نمونه‌ها در گستره‌ی آهکی-قلیایی با پاتاسیم بالا و شوشونیتی قرار گرفته‌اند (شکل ۳، ب)، بنابراین می‌توان گفت که مگماهای مولد سنگ‌های توده‌ی نفوذی استرقان دارای سرشت آهکی-قلیایی با پاتاسیم بالا و شوشونیتی هستند. به منظور جدایش این دو گونه‌ی گرانیتوئیدی از یکدیگر، از نمودارهای  $\text{K}/\text{Rb}-\text{SiO}_2$  و  $\text{K}_2\text{O}$  نسبت به  $\text{Na}_2\text{O}$  استفاده شده است (شکل ۳، ت). بر اساس نمودارها، نمونه‌های خانواده‌ی پورفیری در گستره‌ی گرانیتوئیدهای نوع I قرار گرفته و جزء مگماهای نسبتاً تحول یافته هستند [۱۰].

الگوی غنی‌شده‌ی نمونه‌های وابسته به خانواده استرقان از عناصر LREE به سمت MREE و HREE کاهش نشان می‌دهند [۱۱]، (شکل ۴، الف). بالا بودن نسبت  $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}$  در خاستگاه، عمق نشان دهنده‌ی بالا بودن نسبت  $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}$  در خاستگاه گارنت لرزولیتی است. بیشتر تولید مگما و یا احتمالاً خاستگاه گارنت لرزولیتی است. غنی شده‌ی Eu نیز نتیجه‌ی انباشت فلدسپار است [۱۲]. با توجه به اینکه حمل کننده‌ی Eu فلدسپارها هستند، این تغییرات ممکن است با درجه‌ی تجزیه‌ی این کانی‌ها در ارتباط باشد و بی‌هنجاری مثبت Eu با مرحله‌ی اولیه دگرسانی سنگ‌ها در شرایط اسیدی سازگار است [۱۳] همچنین بی‌هنجاری مثبت Eu می‌تواند نشان دهنده‌ی شاره‌های با ماهیت اسیدی با دمای بالا باشد [۱۴]. نمونه‌های سنگی توده‌ی نفوذی استرقان نسبت به مقادیر گوشتی اولیه [۱۵] بی‌هنجار شده‌اند.

کوارتز مونزونیت بیشتر در بخش جنوبی منطقه به صورت خانواده‌های کوچک و پراکنده دیده می‌شود. کانی‌های اصلی شامل پلازیوکلاز، فلدسپار پاتاسیم، کوارتز و کلینوبیروکسن هستند. پلازیوکلاز (۳۵-۵۵٪) هم به صورت درشت بلورهای شکل دار تا نیمه شکل دار و هم در زمینه‌ی سنگ با اندازه‌های متوسط تا ریز قرار دارند. این سنگ‌ها بیشتر در محل رگه‌های سیلیسی و شکستگی‌ها دستخوش دگرسانی فیلیک و آرژیلیک شده‌اند. فلدسپار پاتاسیم (۳۵-۵۵٪) به صورت درشت بلورهای شکل دار تا نیمه شکل دار و نیز در زمینه‌ی سنگ با ابعاد متوسط تا ریز قرار دارند و اغلب به صورت میکروپریتیت هستند و بیشتر به کانی‌های رسی و سرسیت دگرسان شده‌اند. کوارتز (۱۵٪-۵٪) به صورت بی‌شكل و رگچه‌ای فضای بین کانی‌ها را پر کرده است (شکل ۲، ب). کلینوبیروکسن (۱۰٪-۵٪) به صورت درشت بلورهای نیمه شکل دار تا بی‌شكل در نمونه‌ها حضور دارد که به بیوتیت، کدر، آمفیبیول و کلریت دگرسان شده است. کانی‌های فرعی شامل آمفیبیول، بیوتیت، تیتانیت، روتیل با رشد شعاعی (در درون کوارتز) حضور دارند که هستند. بافت پورفیری با زمینه‌ی ریز دانه، و دانه‌ای در این سنگ‌ها مشاهده می‌شود.

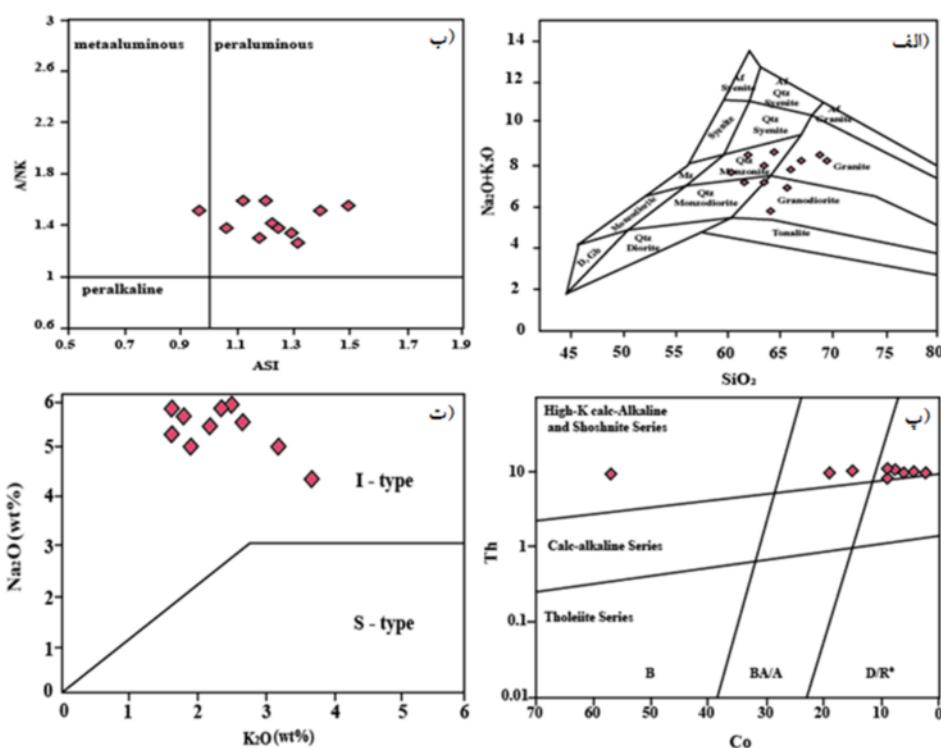
کوارتز مونزوندیوریت به صورت توده‌ای با حاشیه‌ی نامشخص در درون گرانودیوریت دیده شدن. کانی‌های اصلی عبارتند از پلازیوکلاز، فلدسپار پاتاسیم و کوارتز. پلازیوکلاز (۷۰-۵۵٪) به صورت درشت بلورهای شکل دار تا نیمه شکل دار داشته و بیشتر به کانی‌های رسی دگرسان شده‌اند (شکل ۲، ت). کوارتز (۱۵٪-۱۰٪) به صورت بی‌شكل، فضای بین کانی‌ها را پر کرده است. کانی‌های فرعی عبارتند از: بیوتیت، اوژیت، کدر، تورمالین و هورنبلند. کلریت، بیوتیت، کانی‌های رسی، سرسیت و اپیدوت از جمله کانی‌های ثانویه بوده و بافت کلی سنگ پورفیری با زمینه‌ی ریز دانه‌ای است. توده‌ی گرانیتوئیدی استرقان به وسیله‌ی دایک‌های کوارتز دیوریتی و میکرودیوریتی قطع گردیده است. سنگ‌های مربوط به دایک‌ها از نظر کانی‌شناسی و ترکیبی شباهت زیادی با استوک پورفیری داشته و در نمونه‌های دستی به رنگ خاکستری متمایل به سبز (متاثر از دگرسانی پروپیلیتیک) دیده می‌شوند. آمفیبیول، پلازیوکلاز، کوارتز به عنوان کانی‌های اصلی و کلسیت، کلریت، اپیدوت و کدر به صورت کانی‌های فرعی در این سنگ‌ها حضور دارند (شکل ۲، ث و ج). دسته سیل‌ها از نظر ترکیبی شامل تراکی آندزیت، هورنبلند آندزیت و گاهی داسیت هستند و دستخوش

برخوردی و پسا برخوردی است و نشانگر این است که توده‌های یاد شده در پوسته‌ی قاره‌ای با ضخامت متوسط تا زیاد جایگیری کرده و از فرایند آلایش پوسته‌ای متأثر شده‌اند [۱۶].

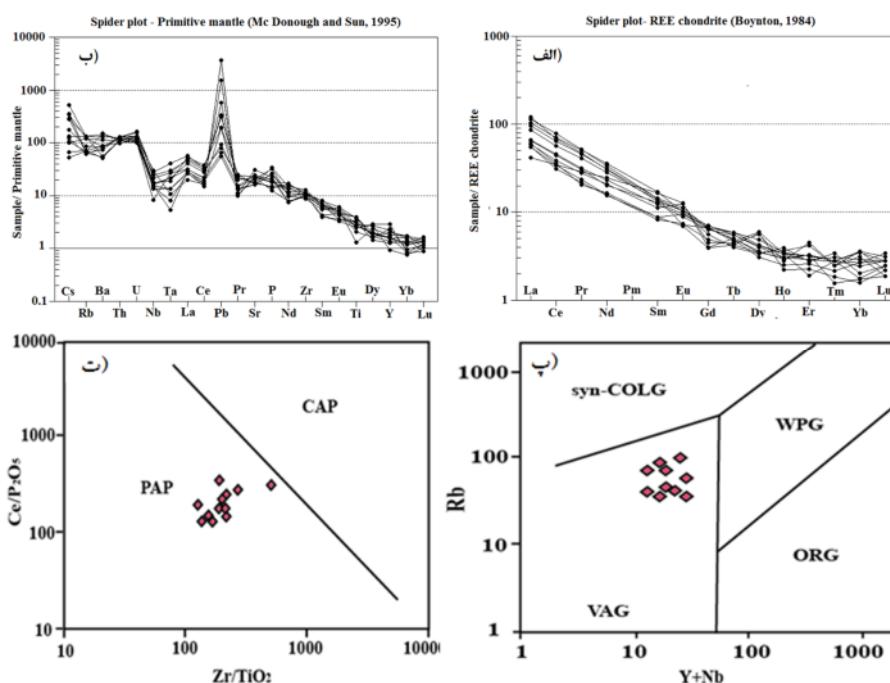
(شکل ۴، ب). به طور کلی در این نمودار، غنی شدگی در عناصری نظریز La, Rb, Nd, Zr, Pb, U و Cs و تهی شدگی در عناصری نظریز Ce, Pr, Ta, Nb و مشاهده می‌شود. غنی شدگی Rb، یکی از شاخص‌های اصلی گرانیت‌های

**جدول ۱** نتایج آنالیز ژئوشیمیایی نمونه‌های مربوط به خانواده‌ی پورفیری استرقان به روش ICP-ES و ICP-MS =qmz (کوارتزمنزونیت)؛ =gd (گرانودیوریت؛ qmzd =کوارتزمنزوندیوریت).

Oxide	AST-1 (qmz)	AST-2 (gd)	AST-3 (gd)	AST-4 (gd)	AST-5 (qmz)	AST-6 (qmz)	AST-7 (qmz)	AST-8 (gd)	AST-9 (gd)	AST-10 (qmzd)	AST-11 (qmzd)	AST-12 (gd)
SiO <sub>2</sub>	۶۰,۲	۶۲,۳	۶۹,۲۶	۶۲,۲	۶۸,۷۵	۶۳,۸۸	۶۴,۱۹	۶۱,۹۱	۶۵,۶۷	۶۶,۷۶	۶۶,۱	۶۱,۶۹
TiO <sub>2</sub>	۰,۷۹	۰,۶۸	۰,۴۱	۰,۵۷	۰,۵۳	۰,۶۴	۰,۵۴	۰,۷۹	۰,۲۶	۰,۵	۰,۴۹	۰,۷۴
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	۱۷,۵۲	۱۷,۱۳	۱۶,۸۲	۱۶,۳۱	۱۶,۸۹	۱۸,۹۷	۱۷,۰	۱۷,۹۶	۱۷,۴	۱۷,۹۳	۱۶,۶	۱۷,۴۱
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	۳,۶۲	۳,۲۷	۱,۸۳	۳,۳۱	۱,۸۸	۲,۰۵	۳,۹	۴,۲۸	۲,۹۲	۲,۳۵	۲,۵۳	۲,۶۵
MnO	۰,۰۱	۰,۰۸	۰,۰۲	۰,۰۵	۰,۰۱	۰,۰۳	۰,۰۱	۰,۰۱	۰,۰۴	۰,۰۲	۰,۰۱	۰,۰۷
MgO	۳,۹۵	۳,۱۱	۰,۹۸	۳,۰۲	۰,۹۵	۰,۸۱	۲,۲۴	۱,۸۴	۰,۴۳	۱,۰۹	۲,۷۸	۳,۹۶
CaO	۴,۰۵	۲,۸۷	۰,۹۳	۲,۱۸	۰,۶۷	۰,۷۵	۱,۰۳	۰,۹	۰,۱۳	۰,۴۸	۱,۱۲	۲,۲۸
Na <sub>2</sub> O	۰,۹	۰,۲۷	۰,۹۸	۰,۸۴	۰,۹۷	۰,۶۳	۰,۲۹	۰,۲۴	۰,۹۱	۰,۵۶	۰,۲	۰,۵۹
K <sub>2</sub> O	۱,۷۳	۱,۸۸	۲,۲۶	۲,۱۱	۲,۶	۲,۲	۲,۳۷	۲,۱۵	۳,۹۵	۳,۶۴	۱,۵۹	۱,۵۸
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	۰,۷	۰,۴۷	۰,۳۸	۰,۵۴	۰,۴۱	۰,۳۱	۰,۳۷	۰,۶۶	۰,۲۹	۰,۲۶	۰,۴۲	۰,۵۳
LOI	۱,۴۵	۱,۹۵	۲,۱۴	۲,۳۶	۱,۳۶	۲,۲۶	۱,۹۶	۲,۲۷	۲,۴۹	۲,۴۲	۲,۲۱	۳,۲
Total	۹۹,۹۹	۹۹,۹۳	۱۰۰,۹۹	۹۹,۹۴	۱۰۰,۰۱	۹۶,۱	۹۹,۹	۱۰۰	۹۶,۴۵	۹۹,۹۹	۱۰۰,۰۴	۹۹,۶۳
Ba	۵۵-	۵۳۶,۸	۸۵۴,۶	۵۴۷,۹	۵۵۵,۷	۹۵۳,۷	۳۴۳,۶	۷۵۳,۷	۳۶۷,۷	۳۵۵,۸	۹۶,۸	۴۹۱,۲
Rb	۵۱,۶	۳۷,۱	۷۹,۳	۷۴,۲	۴۲,۲	۸۰,۴	۴۳,۴	۷۱,۷	۷۸,۷	۳۹,۳	۴۱,۲	۳۸,۷
Sr	۳۳۳,۵	۶۱,۰	۴۴۳,۶	۳۲۵,۲	۴۸۶,۸	۳۳۷,۶	۴۴۲,۸	۴۰,۹۳	۴۶-	۴۴-	۴۵,۸	۳۲۵
Y	۷,۲	۰,۸	۱۰	۹,۶	۶,۶	۵,۵	۶,۹	۶,۹	۷,۸	۴	۱۲,۳	۸,۷۵
Zr	۱۰۰,۰۵	۱۰,۹,۶	۱۱۰,۳	۹۱,۴	۱۰,۹,۲	۱۲۱,۷	۱۱۷,۹	۱۱۵,۴	۱۳۲,۹	۱۰,۳	۱۰,۵,۱	۱۲۰
Nb	۱۸,۱	۱۰,۱	۱۴,۲	۸,۹	۱۰,۷	۱۱,۹	۱۱,۱	۵,۵	۱۵,۹	۱۰	۹,۷	۱۹,۶
Th	۱۰,۳	۱۰,۰,۹	۱۰	۹,۹	۷,۸	۹	۹,۳	۸,۶	۹,۱	۸,۹	۹,۲	۱۰,۴
Pb	۵,۰,۲	۱۳۰,۴	۴۷	۸,۴	۸,۶	۲۹,۵	۱۳,۸	۹,۷	۱۱,۸	۲۳-	۵۵۸,۳	۲۸,۸
Ga	۲۲,۳	۱۷,۸	۲۱,۱	۱۴,۹	۱۵,۳	۱۴,۹	۱۵,۸	۱۶,۲	۱۶,۹	۳,۲	۱۵,۱	۱۸
Zn	۴۵	۴۶	۴۱	۱۲۱	۴۷	۱۰	۴۱	۲۷	۴۳	۲۲	۴۵	۱۴۱
Cu	۱۸۸,۵	۴۰,۱	۶۲۸,۴	۸۸	۹۲۳,۹	۴,۵	۱۰,۹,۶	۱۸۹,۸	۱۹,۹	۱۸,۴	۱۲۴,۸	۱۲۱,۴
Ni	۸,۴	۱,۶	۴۶,۹	۱۶,۶	۲۵	۷,۷	۳۰,۳	۱۵,۶	۱۶,۲	۳,۷	۳۳,۷	۲۵
V	۱۵۴	۷۵	۸۸	۵۳	۵۹	۶۲	۶۰	۴۴	۶۷	۴۸	۱۴۹	۱۹۶
Ag	۰,۸	۰,۲	۰,۱	۰,۵	۰,۱	۰,۳	۰,۱	۰,۱	۰,۱	۰,۱	۰,۱	۰,۳
Au(ppb)	۳۸,۴	۵,۲	۱۳,۷	۶,۲	۲۹۲,۵	۲۶,۲	۱۱۱,۷	۲۰,۱	۲۵,۸	۳۷۴,۸,۵	۳,۷	۵۴,۸
Hf	۱,۸	۳,۶	۲,۸	۲,۵	۲,۸	۳,۶	۳,۱	۳,۱	۳,۵	۲,۷	۱,۶	۲,۱
Cs	۲,۷	۲,۶	۲,۸	۲,۳	۱,۱	۰,۹	۱,۴	۲,۱	۱۱	۶,۱	۲,۲	۷,۵
Ta	۱,۵	۰,۵	۱	۰,۵	۰,۸	۰,۷	۰,۸	۱	۱,۱	۰,۲	۰,۳	۰,۴
Co	۰,۶	۱,۶	۸,۴	۸	۸,۶	۲,۶	۴,۶	۵۶,۴	۶,۸	۱۸,۷	۱۴,۸	۲۵,۶
U	۲,۳	۲,۶	۳,۱	۲	۲,۳	۲,۵	۲,۳	۲	۲,۷	۲,۱	۲,۴	۲,۷
W	۲۰	۱,۳	۵,۲	۱,۸	۳,۹	۵,۸	۴,۲	۲۴۲	۱۶,۶	۵۲,۸	۱,۱	۱۵۹
Sn	۳	۲	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱
Mo	۰,۲	۲,۱	۲	۲,۵	۲,۲	۲,۱	۸,۷	۵	۲	۰,۵	۰,۶	۱۱,۶
La	۳۷,۳	۱۷,۱	۳۲,۱	۱۸,۵	۲۰,۴	۳۵,۴	۲۶,۵	۲۰,۲	۲۹,۸	۱۸,۸	۱۷,۳	۱۲,۹
Ce	۵۵,۲	۲۷,۵	۵۶,۷	۳۱,۲	۳۷	۶۳,۴	۴۶,۲	۳۶	۵۱,۹	۲۸,۷	۲۵,۳	۲۷,۹
Pr	۷۸,۵	۸۷,۲	۱۷,۶	۳۸,۳	۸۸,۳	۳,۶	۰,۴,۵	۷۵,۳	۵۷,۵	۵۱,۲	۶۴,۲	۵۲,۳
Nd	۳,۱۸	۵,۹	۳,۲۱	۵,۱۲	۹,۱۳	۱,۲۰	۱۷	۱,۱۲	۷,۱۸	۹,۹	۳,۹	۷,۱۴
Sm	۶,۲	۶,۱	۳,۳	۲,۲	۴,۲	۸,۲	۷,۲	۵,۲	۸,۲	۷,۱	۷,۱	۷,۳
Eu	۷۶,۰	۵۴,۰	۷۴,۰	۹۲,۰	۶۵,۰	۵۳,۰	۷۶,۰	۷,۰	۸۲,۰	۵۱,۰	۷,۰	۹۴,۰
Gd	۶۷,۱	۲۶,۱	۴۵,۱	۱۷,۱	۶۳,۱	۷۳,۱	۸۱,۱	۸۴,۱	۷۳,۱	۰,۲,۱	۷۳,۱	۰,۳,۱
Tb	۲۴,۰	۲,۰	۱۹,۰	۲۱,۰	۲۶,۰	۲۳,۰	۲۸,۰	۲۶,۰	۲۸,۰	۲,۰	۲۲,۰	۲۴,۰
Dy	۱۶,۱	۱۲,۱	۰,۹,۱	۸,۱	۲۹,۱	۹۸,۰	۳۶,۱	۳۷,۱	۵۸,۱	۸۶,۱	۹۲,۱	۱۲,۱
Ho	۲۱,۰	۲۲,۰	۲۸,۰	۲,۰	۲۲,۰	۱۸,۰	۲۴,۰	۲۴,۰	۲۴,۰	۱۶,۰	۲۴,۰	۲۶,۰
Er	۶۸,۰	۶۱,۰	۵۸,۰	۹۵,۰	۶۸,۰	۵۴,۰	۶,۰	۶۷,۰	۶۶,۰	۴۷,۰	۴,۰	۸۸,۰
Tm	۰,۵,۰	۱,۰	۱۱,۰	۰,۸,۰	۰,۹,۰	۰,۷	۰,۹,۰	۰,۹,۰	۰,۹,۰	۰,۶,۰	۰,۹,۰	۰,۸,۰
Yb	۳۶,۰	۶,۰	۴۲,۰	۶۰,۰	۷۳,۰	۵۶,۰	۵۶,۰	۵۱,۰	۷۵,۰	۴۳,۰	۳۷,۰	۷۵,۰
Lu	۰,۶,۰	۰,۹,۰	۰,۸,۰	۰,۸,۰	۰,۹,۰	۰,۹,۰	۱۱,۰	۰,۹,۰	۱,۰	۰,۷,۰	۰,۸,۰	۰,۷,۰



شکل ۳ الف) نمودار TAS [۷] و موقعیت سنگ‌های نفوذی منطقه‌ی مورد بررسی در آن. ب) نمودار A/CNK – A/NK / A برای نمونه‌های توده نفوذی استرقان [۸]. پ) نمودار Th در برابر Co برای تعیین سری ماسه‌های نمونه‌های استرقان [۹]. و ت) نمودار  $K_2O - Na_2O$  [۱۰] که اکثر نمونه‌های مورد بررسی در بخش گرانیت‌های نوع I قرار می‌گیرند.



شکل ۴ الف) عناصر کمیاب خاکی REE [۱۱] که نسبت به کندریت بهنجار شده‌اند. ب) نمودار عنکبوتی بهنجار شده به گوشه‌های اولیه [۱۵] پ) موقعیت نمونه‌های منطقه در نمودار Rb در برابر Y+Nb [۱۸]. و ت) نمودار Th در برابر Zr/TiO<sub>2</sub>-Ce/P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> [۲۰] برای تعیین موقعیت زمین ساختی نمونه‌های منطقه، (CAP: قوس حوشی فعال قاره‌ای و PAP: قوس پسا پرخورد).

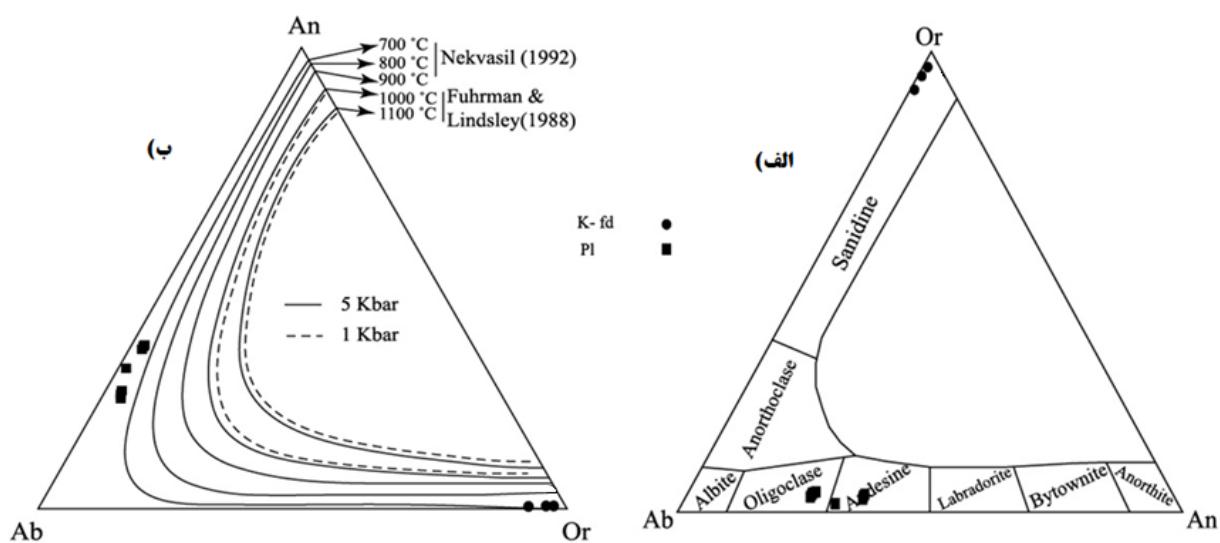
### شیمی کانی‌ها فلدسپارها

یافته‌های حاصل از تجزیه فلدسپارهای خانواده پورفیری استرقات در جدول (۲) ارائه شده‌اند. بر اساس نمودار-Or ترکیب پتاسیم فلدسپارها در گستره‌ی ارتوکلاز (بیش از ۹۰ درصد Or) و ترکیب پلازیوکلازها در گستره‌ی آندزین و الیکوکلاز قرار می‌گیرند (شکل ۵، الف). ترکیب میانگین پلازیوکلاز و پتاسیم فلدسپار در خانواده پورفیری به ترتیب به صورت  $Ab_{1.142} An_{3.97} Or_{67.43}$  و  $Ab_{29.53} An_{3.02} Or_{94.99}$  است. دما‌سنجی فلدسپارها بر اساس نمودار-Ab-An-Or-[۲۱، ۲۰] نشان می‌دهد که تبلور آنها در دمای حدود ۷۵۰-۶۵۰ درجه‌ی سانتی‌گراد رخ داده است (شکل ۵، ب). چنین دمای‌های پایینی ممکن است نشانگر دمای اوج تشکیل سنگ‌های مورد بررسی نباشد چراکه می‌تواند حاصل تعادل دوباره فلدسپارها در حالت شبه انجام داشد [۲۲].

غنى شدگی Pb نشان دهنده‌ی تأثیر پوسته‌ی قاره‌ای در شکل گيرى ماگماى مولد تودهی نفوذی و یا آلايش با ماگماى ناشی از ذوب‌بخشی گوشه‌ی عمیق که در ترازهای بالاتر دستخوش جدایش شده است. بنابر [۱۷] تهی شدگی Nb مشخصه تأثیر فروزانش بر منابع ماگمای گوشه است. برای تعیین جایگاه زمین‌ساختی تودهای گرانیتیوئیدی، بیشتر از نمودارهایی استفاده می‌شود که براساس فراوانی عناصر کمیاب کم تحرک در برابر فرایندهای دگرسانی و هوازدگی طراحی شده باشند. بر همین اساس برای تعیین محیط زمین‌ساختی این سنگ‌های منطقه، از نمودار Rb در برابر Y+Nb [۱۸] استفاده شد که در آن تقریباً تمامی نمونه‌ها به قوس‌های آتش‌شانی (قوس‌های حاشیه فعال قاره) وابسته‌اند (شکل ۴، پ). همچنین به منظور جدایش قوس‌های ماگمای حاشیه‌ی فعال قاره‌ای و قوس‌های ماگمای پساب‌خورد از نمودار Zr/TiO<sub>2</sub> - Ce/P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> [۱۹] استفاده شد. در این نمودار نمونه‌های منطقه‌ی مورد بررسی در گستره‌ی پس برخورده (PAP) قرار می‌گیرند (شکل ۴، ت).

**جدول ۲** ترکیب فلدسپارهای تجزیه شده از خانواده‌ی پورفیری استرقات به همراه فرمول ساختاری بر اساس ۸ اکسیژن.

Sample Mineral	F23-1 Plg.	F23-2 Plg.	F23-3 Plg.	F23-4 Plg.	F23-5 Plg.	F23-6 Plg.	Ast-21 Plg.	Ast-21 Plg.	Ast-21 Kf.	Ast-21 Kf.	Ast-21 Kf.
SiO <sub>2</sub>	۲۳.۶۶	۷۴.۶۵	۶۹.۶۱	۰.۶۶۲	۳۱.۶۱	۴.۶۲	۲۹.۵۹	۱۲.۵۸	۹۷.۶۱	۱۲.۶۳	۷۱.۶۴
TiO <sub>2</sub>	۰	۰.۵۰	۰	۰.۵۰	۰	۰	۰.۲۰	۰	۰	۰	۰
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	۸۲/۱۹	۲۸/۲۱	۹۳/۲۳	۶۴/۲۳	۰.۶۲۴	۳۴/۲۳	۳۲/۲۵	۵۴/۲۴	۶۷/۱۸	۴۸/۱۷	۶/۱۸
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
FeO	۰	۰.۳۰	۱۷/۰	۱۱/۰	۱۶/۰	۱۹/۰	۲۴/۰	۲/۰	۰.۸۰	۲۶/۰	۰.۹۰
MnO	۰	۰	۰	۰	۰.۰۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰
MgO	۰.۲۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰.۱۰	۳۹/۰	۱۱/۰	۵۱/۰	۱۴/۰
CaO	۹/۳	۷۶/۳	۵۹/۵	۳۳/۵	۸۹/۵	۹۳/۴	۹/۷	۴۴/۷	۰.۹۰	۰.۳۰	۰.۶۰
Na <sub>2</sub> O	۳۶/۹	۷/۸	۳۷/۸	۹۷/۸	۳۶/۸	۶۵/۸	۴۸/۷	۹۱/۶	۳۲/۱	۶۹/۰	۴۸/۰
K <sub>2</sub> O	۱۲/۰	۲/۰	۹۹/۰	۵/۰	۸۹/۰	۹۹/۰	۴۸/۰	۵۱/۰	۷۸/۱۵	۱۹/۱۶	۸۵/۱۶
Total	۵۵.۹۹	۷۶.۹۹	۷۵.۱۰۰	۶۶.۱۰۰	۶۹.۱۰۰	۵.۱۰۰	۷۶.۱۰۰	۱۱.۹۸	۰.۲۹۸	۲۸.۹۸	۹۳.۱۰۰
8(O)											
Si	۹۳۱/۲	۸۹۳/۲	۷۳۲/۲	۷۴۶/۲	۷۲۱/۲	۷۶۵/۲	۶۴۱/۲	۶۵۱/۲	۵۲۹/۲	۵۶۹/۲	۵۶۵/۲
Ti	۰	۰۰۲/۰	۰	۰۰۲/۰	۰	۰	۰۰۱/۰	۰	۰	۰	۰
Al	۰.۳۲/۱	۱۰۴/۱	۲۵/۱	۲۳۳/۱	۲۵۸/۱	۲۱۹/۱	۳۲۹/۱	۳۱۹/۱	۰.۱۶/۱	۹۴۹/۰	۹۸۳/۰
Cr	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
Fe++	۰	۰۰۱/۰	۰۰۶/۰	۰۰۴/۰	۰۰۶/۰	۰۰۷/۰	۰۰۹/۰	۰۰۸/۰	۰۰۷/۰	۰.۲۱/۰	۰.۰۷/۰
Mn	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
Mg	۰.۰۱/۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰.۰۱/۰	۰.۲۷/۰	۰.۰۹/۰	۰.۴۲/۰	۰.۱۱/۰
Ca	۱۸۵/۰	۱۷۷/۰	۲۶۵/۰	۲۵۳/۰	۲۸/۰	۲۳۴/۰	۳۷۷/۰	۳۶۴/۰	۰.۰۷/۰	۰.۰۲/۰	۰.۰۵/۰
Na	۸۰۲/۰	۷۴۲/۰	۷۱۹/۰	۷۷/۰	۷۱۹/۰	۷۴۳/۰	۶۴۶/۰	۶۱۱/۰	۲۱۵/۰	۱۱۲/۰	۰.۷۶/۰
K	۰.۰۷/۰	۰.۱۱/۰	۰.۵۶/۰	۰.۲۸/۰	۰.۵/۰	۰.۵۶/۰	۰.۲۷/۰	۰.۳/۰	۵۷۶/۲	۶۳۶/۲	۶۷۱/۲
Total	۹۵۷/۴	۹۳/۴	۰.۲۹/۵	۰.۳۵/۵	۰.۳۵/۵	۰.۲۵/۵	۰.۲۵/۵	۰.۳۱/۵	۰.۰۹/۵	۳۵۹/۶	۳۳۱/۶
Na / (Na+K+Ca)	۸۰۷/۰	۷۹۷/۰	۶۹۱/۰	۷۳۳/۰	۶۸۵/۰	۷۱۹/۰	۶۱۵/۰	۶۰۸/۰	۰.۷۷/۰	۰.۴۱/۰	۰.۲۸/۰
K / (Na+K+Ca)	۰.۰۷/۰	۰.۱۲/۰	۰.۵۴/۰	۰.۲۷/۰	۰.۴۸/۰	۰.۵۴/۰	۰.۲۶/۰	۰.۳/۰	۹۲/۰	۹۵۸/۰	۹۷۱/۰
Ca / (Na+K+Ca)	۱۸۶/۰	۱۹/۰	۲۵۵/۰	۲۴۱/۰	۲۶۷/۰	۲۲۷/۰	۳۵۹/۰	۳۶۲/۰	۰.۰۳/۰	۰.۰۱/۰	۰.۰۲/۰
An%	۲۶.۳۵	۴۶.۳۵	۷۱.۳۰	۹۱.۲۴	۶۷.۲۴	۸۱.۲۴	۹۷.۲۴	۳۶.۲۵	۲۶۲/۰	۰.۸۹/۰	۱۷۲/۰
Ab%	۲۱.۶۲	۹۴.۶۱	۶۵.۶۷	۱۷.۷۱	۳۱.۷۱	۶۶.۷۱	۲۹.۷۱	۲۱.۶۲	۶۹۹.۷	۰.۸۴.۴	۷۶۵.۲
Or%	۴۱۸.۲	۵۸۴.۲	۶۲۳/۱	۹۱۲/۳	۰.۰۷/۴	۵۴۱/۳	۷۲۵.۳	۴۱۸/۲	۰.۳۹۲	۸۲.۹۵	۰.۶۷۷



شکل ۵ (الف) ترکیب فلدسپارها در نمودار Ab-Or-An و (ب) فشارسنجدی فلدسپارهای خانواده‌ی پورفیری استرقان در نمودار مثلثی Ab-An-Or.

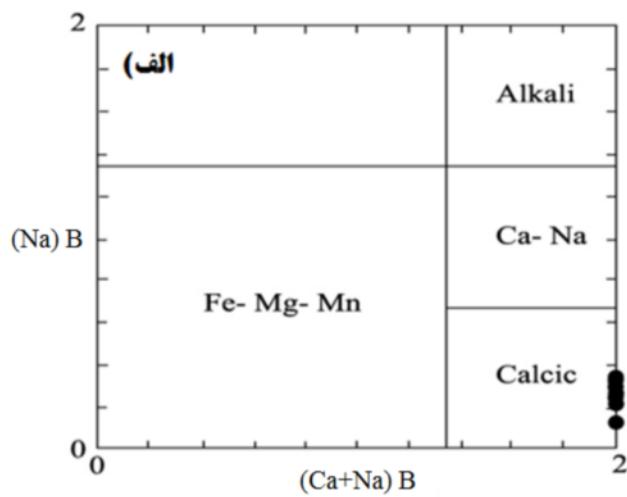
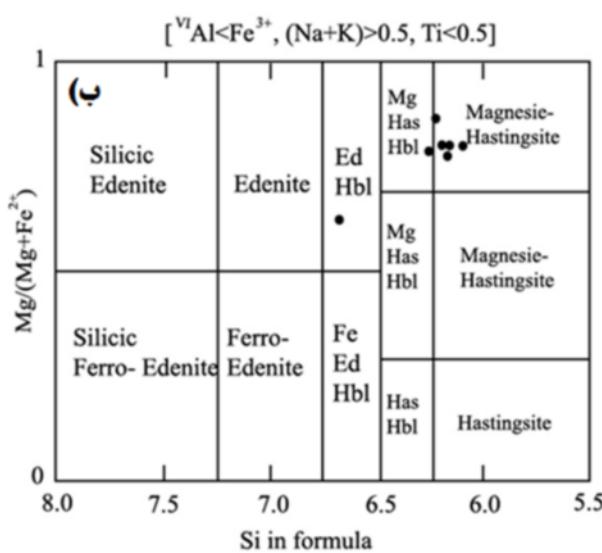
(شکل ۶، الف و ب).

دما- فشارسنجدی زوج هورنبلند- پلاژیوکلاز برای نمونه‌های منطقه‌ی استرقان با روابط زیر محاسبه شدند:

A) Edenite + 4 Quartz = Tremolite + Albite  
 B) Edenite + Albite = Richeterite + Anorthite  
 رابطه‌ی A برای نمونه‌های کوارتز دار و رابطه‌ی B برای نمونه‌های فاقد کوارتز به کار می‌روند [۲۴]. بر اساس دماسنجدی زوج هورنبلند- پلاژیوکلاز برای فشارهای ۱ تا ۱۰ کیلوبار، دمای تبلور این زوج ۷۳۰ تا ۸۴۷ درجه‌ی سانتیگراد تعیین شد.

#### آمفیبول

ترکیب آمفیبول‌های منطقه‌ی مورد بررسی در جدول (۳) ارائه شده است. آمفیبول‌های منطقه با مقادیر  $1 < \frac{\text{Ca}+\text{Na}}{\text{B}} \leq 3$  و  $\text{CaB} > 1.5$  جزء آمفیبول‌های گروه کلسیک بوده [۲۳] و بر اساس نمودار  $\text{Si} / (\text{Mg} + \text{Fe}^{2+})$  نسبت به  $\text{Al}^{VI} / \text{Fe}_3^{+}$  و  $(\text{Na}+\text{K}) / \text{A} > 0.5$  در گستره‌ی  $\text{NaCa}_2(\text{Mg}_4\text{Fe}^{3+})\text{Si}_6\text{Al}_2\text{O}_{22}(\text{OH})_2$  تا  $\text{NaCa}_2\text{Mg}_5(\text{Si}_7\text{Al})\text{O}_{22}(\text{OH})_2$  ادنیت قرار می‌گیرند



شکل ۶ رده‌بندی آمفیبول‌های مورد بررسی؛ (الف) نمودار رده‌بندی کلی آمفیبول و (ب) نمودار  $\text{Si} / (\text{Mg} + \text{Fe}^{2+})$  برای آمفیبول‌های با  $\text{VI Al} < \text{Fe}^{3+}$  که در آن آمفیبول‌ها در گستره‌ی هستینگزیت منزیم‌دار تا ادنیت ترسیم می‌شوند [۲۳].

جدول ۳ ترکیب آمفیبولهای خانواده‌ی پورفیری استرقان با فرمول ساختاری بر اساس ۲۳ اکسیژن.

Sample	FA13	FA13	FA13	FA13	FA13	FA13	FA13	FA13
Mineral	Amp.	Amp.	Amp.	Amp.	Amp.	Amp.	Amp.	Amp.
SiO <sub>2</sub>	۳۲/۴۶	۱۳/۴۳	۸۲/۴۲	۴۲/۴۲	۶۵/۴۲	۵۷/۴۲	۷۹/۴۲	۲۶/۴۳
TiO <sub>2</sub>	۳۱/۱	۳۷/۳	۴۵/۳	۵۴/۳	۵۶/۳	۵/۳	۲۷/۳	۹۹/۲
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	۸۵/۸	۹۳/۱۰	۱۱/۱۱	۳۵/۱۱	۰/۱۱	۰/۱۱	۲۷/۱۱	۵۶/۱۰
FeO	۷۷/۱۳	۷۹/۱۱	۶۴/۱۱	۴۴/۱۲	۷۴/۱۱	۸۳/۱۱	۱۶/۱۲	۰/۱۲
MnO	۳۴/۰	۲۵/۰	۲۸/۰	۲۵/۰	۲۵/۰	۲۶/۰	۲۹/۰	۲۴/۰
MgO	۵۱/۱۳	۴۴/۱۴	۱۹/۱۴	۹۶/۱۳	۳۱/۱۴	۱۵/۱۴	۰/۱۴	۵۲/۱۴
CaO	۱۲/۱۲	۳۸/۱۱	۴۸/۱۱	۲/۱۱	۴۶/۱۱	۳۲/۱۱	۳۶/۱۱	۲۵/۱۱
Na <sub>2</sub> O	۵۶/۱	۶۲/۲	۶۱/۲	۷۴/۲	۶۴/۲	۵۹/۲	۶۸/۲	۵۲/۲
K <sub>2</sub> O	۹۴/۰	۰/۱/۱	۰/۳/۱	۰/۲/۱	۰/۲/۱	۰/۶/۱	۹۸/۰	۰/۲/۱
Total	۷۲/۹۸	۸۲/۹۸	۶۲/۹۸	۹۲/۹۸	۷۹۸	۳۵/۹۸	۸۹/۹۸	۳۸/۹۸
23(O)								
Si	۷۱۵/۶	۲۳۱/۶	۲۱۱/۶	۱۳۵/۶	۱۷۹/۶	۱۸۷/۶	۱۸۴/۶	۲۵۹/۶
Ti	۱۴۳/۰	۳۶۶/۰	۳۷۶/۰	۳۸۵/۰	۳۸۸/۰	۳۸۲/۰	۳۵۵/۰	۳۲۵/۰
Al	۵۱۲/۱	۸۶۱/۱	۸۹۹/۱	۹۳۵/۱	۸۹/۱	۸۹۶/۱	۹۲/۱	۸۰/۱/۱
Fe	۶۶۹/۱	۴۲۴/۱	۴۱۲/۱	۵۰/۰/۱	۴۲۲/۱	۴۳۸/۱	۴۷/۱	۴۵۴/۱
Mn	۰/۴۲/۰	۰/۳۱/۰	۰/۳۴/۰	۰/۳۱/۰	۰/۳۱/۰	۰/۳۲/۰	۰/۳۵/۰	۰/۴۸/۰
Mg	۹۱۹/۲	۰/۸۸/۳	۰/۶۷/۳	۰/۰/۳	۰/۹/۳	۰/۹/۳	۰/۶۵/۳	۰/۳۵/۳
Ca	۸۸۲/۱	۷۶۱/۱	۷۸۴/۱	۷۳۵/۱	۷۷۹/۱	۷۶۲/۱	۷۵۹/۱	۷۴۴/۱
Na	۴۳۸/۰	۷۳۴/۰	۷۳۴/۰	۷۶۸/۰	۷۴۱/۰	۷۲/۰	۷۵۱/۰	۷/۰
K	۱۷۴/۰	۱۸۶/۰	۱۹۱/۰	۱۸۸/۰	۱۸۸/۰	۱۹۷/۰	۱۸۱/۰	۱۸۸/۰
Sum	۴۹۵/۱۵	۶۸۱/۱۵	۷۰۸/۱۵	۶۹۲/۱۵	۷۰۹/۱۵	۶۸۹/۱۵	۶۹۱/۱۵	۶۳۹/۱۵
Fe <sup>3+</sup>	۳۹۵/۰	۵۰/۰/۰	۴۲۴/۰	۵۹۷/۰	۴۸۹/۰	۵۱۴/۰	۵۵۱/۰	۶۴۸/۰
Fe <sup>2+</sup>	۲۷۴/۱	۹۲۱/۰	۹۷۸/۰	۹۰/۰/۰	۹۳۳/۰	۹۲۳/۰	۹۱۹/۰	۸۰/۰/۰
T: Si	۷۱۵/۶	۲۳۱/۶	۲۱۱/۶	۱۳۵/۶	۱۷۹/۶	۱۸۷/۶	۱۸۴/۶	۲۷۹/۶
Al(IV)	۲۸۵/۱	۷۶۹/۱	۷۸۹/۱	۸۶۵/۱	۸۲۱/۱	۸۱۳/۱	۸۱۶/۱	۷۴۱/۱
Fe <sup>3+</sup>	•	•	•	•	•	•	•	•
Ti	•	•	•	•	•	•	•	•
T-Sum	۸	۸	۸	۸	۸	۸	۸	۸
C: Al(VI)	۲۲۷/۰	۰/۹/۰	۱۱۱/۰	۰/۷/۰	۰/۵/۰	۰/۸/۰	۱/۴/۰	۰/۶/۰
Ti	۱۴۳/۰	۳۶۶/۰	۳۷۶/۰	۳۸۵/۰	۳۸۸/۰	۳۸۲/۰	۳۵۵/۰	۳۲۵/۰
Fe <sup>3+</sup>	۳۹۵/۰	۵۰/۰/۰	۴۲۴/۰	۵۹۷/۰	۴۸۹/۰	۵۱۴/۰	۵۵۱/۰	۶۴۸/۰
Cr	•	•	•	•	•	•	•	•
Mg	۹۱۹/۲	۰/۸۸/۳	۰/۶۷/۳	۰/۰/۳	۰/۹/۳	۰/۹/۳	۰/۶۵/۳	۰/۳۵/۳
Fe <sup>2+</sup>	۲۷۴/۱	۹۲۱/۰	۹۷۸/۰	۹۰/۰/۰	۹۳۳/۰	۹۲۳/۰	۹۱۹/۰	۸۰/۰/۰
Mn	۰/۴۲/۰	۰/۳۱/۰	۰/۳۴/۰	۰/۳۱/۰	۰/۳۱/۰	۰/۳۲/۰	۰/۳۵/۰	۰/۴۸/۰
Ca	•	•	•	•	•	•	•	•
C-Sum	۵	۵	۵	۵	۵	۵	۵	۵
B: Ca	۸۸۲/۱	۷۶۱/۱	۷۸۴/۱	۷۳۵/۱	۷۷۹/۱	۷۶۲/۱	۷۵۹/۱	۷۴۴/۱
Na	۱۱۸/۰	۲۳۹/۰	۲۱۶/۰	۲۶۵/۰	۲۱/۰	۲۳۸/۰	۲۴۱/۰	۲۵۶/۰
B-Sum	۲	۲	۲	۲	۲	۲	۲	۲
A: Ca	•	•	•	•	•	•	•	•
Na	۳۲۱/۰	۴۹۵/۰	۵۱۷/۰	۵۰/۰/۰	۵۲/۰	۴۹۲/۰	۵۱/۰	۴۵۱/۰
K	۱۷۴/۰	۱۸۶/۰	۱۹۱/۰	۱۸۸/۰	۱۸۸/۰	۱۹۷/۰	۱۸۱/۰	۱۸۸/۰
A-Sum	۴۹۵/۰	۶۸۱/۰	۷۰۸/۰	۶۹۲/۰	۷۰۹/۰	۶۸۹/۰	۶۹۱/۰	۶۳۵/۰
(Na+K)A	۴۹۵/۰	۶۸۱/۰	۷۰۸/۰	۶۹۲/۰	۷۰۹/۰	۶۸۹/۰	۶۹۱/۰	۶۳۵/۰
M/(M+Fe <sup>2+</sup> )	۶۹۶/۰	۷۷/۰	۷۵۸/۰	۷۶۸/۰	۷۶۸/۰	۷۶۹/۰	۷۶۸/۰	۷۶۳/۰
100Na/(Na+Ca)	۸۹۱/۱۸	۴۰/۹/۲۹	۱۴۹/۲۹	۶۸۵/۳۰	۴۲۱/۲۹	۲۸/۲۹	۹۱۸/۲۹	۸۴۳/۲۸
100Al/(Al+Si)	۳۸۱/۱۸	۰/۱/۲۳	۴۱۶/۲۳	۹۷۷/۲۳	۴۲۷/۲۳	۴۶۱/۲۳	۶۹۱/۲۳	۳۴۴/۲۲
Al(VI)Fe <sup>3+</sup> +TiCr	۷۶۵/۰	۹۶۱/۰	۹۲۱/۰	۰/۵۲/۱	۹۴۶/۰	۹۸/۰	۰/۱۱/۱	۰/۳۴/۱

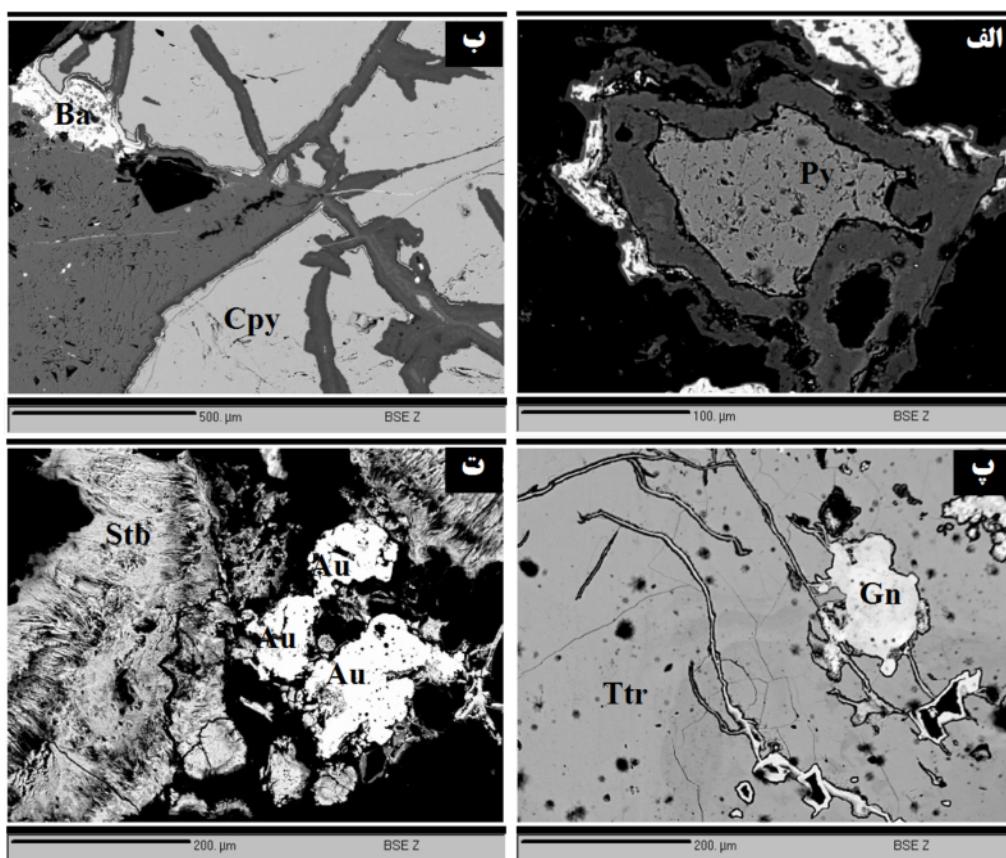
Te در پیریت‌های ذخایر دیگر دنیا [۲۵-۲۸] اهمیت طلا در پیریت‌های منطقه را بالا می‌برد. گالن و باریت از جمله کانی‌های همراه با پیریت در منطقه مورد بررسی هستند (شکل ۷، الف).

#### کالکوپیریت

این کانی فراوان‌ترین کانه‌ی مس در منطقه بوده و دارای گسترش قابل توجهی به شکل دیسیمینه و رگه-رگچه‌ای است. میانگین عناصر اصلی S, Fe, Cu در کالکوپیریت به ترتیب  $36.9\%$ ,  $31.1\%$ ,  $27.6\%$  درصد است. بین عناصر فرعی Ag ( $300\text{ ppm}$ ), As ( $200\text{ ppm}$ ), Sb ( $200\text{ ppm}$ ) دارای بیشترین مقدار هستند. بیشترین مقدار طلای اندازه‌گیری شده در کالکوپیریت  $800\text{ ppm}$  است. با توجه به این نتایج، فرمول محاسبه شده برای این کانی به صورت  $\text{Fe}_{1.1}\text{Cu}_{0.9}\text{S}_2$  است (شکل ۷، ب).

#### شیمی کانه‌ها پیریت

این کانه به صورت پراکنده و رگه-رگچه‌ای، در داخل توده‌ی پورفیری مشاهده می‌شود. پیریت به وسیله‌ی کالکوپیریت جانشین شده و از حواشی به گوتیت دگرسان شده است. نتایج برخی از نقاط آنالیز شده عناصر اصلی Fe, S در پیریت به ترتیب  $52/3\%$  درصد و  $47/3\%$  درصد است. عنصر Cu دارای میانگین  $6940\text{ ppm}$  (حداقل  $100\text{ ppm}$  و حداکثر تا بیش از  $30000\text{ ppm}$  در رگچه‌های سیلیسی)، عنصر Au در بهترین حالت دارای میانگین  $500\text{ ppm}$  و عنصر Hg با میانگین  $370\text{ ppm}$  است. حداکثر فراوانی عناصر As, Bi و Te در پیریت‌های منطقه به ترتیب  $2400\text{ ppm}$ ,  $1700\text{ ppm}$  و  $1400\text{ ppm}$  هستند (جدول ۴). با توجه به فراوانی بالای طلا در پیریت و ارتباط ژئوشیمیایی بین طلا و عناصر As, Bi, Hg و



شکل ۷ تصاویر الکترونی (Backscattered Electron image) از کانه‌های منطقه مورد بررسی. (الف) کانه پیریت که از سمت حواشی اکسید شده است. (ب) کالکوپیریت در نمونه‌های کانی‌سازی شده منطقه مورد بررسی. (پ) تتراهریت- تنانیت به همراه ادخال‌هایی از گالن. (ت) استیبنیت به همراه طلای آزاد مربوط به رگه‌های کوارتز- استیبنیت.

Py = Pyrite, Ba = Barite, Cpy = Chalcopyrite, Gn = Galena, Ttr = Tetrahedrite, Stb = Stibnite, Au = Native Gold.

جدول ۴ نتایج آنالیز ریزپردازشی سولفیدها در برخی از نمونه‌های انتخابی از منطقه‌ی مورد بررسی؛ قسمت اول نتایج بر حسب درصد وزنی و قسمت دوم بر حسب نسبت‌های اتمی است (Py = Pyrite, Cpy = Chalcopyrite, Gn = Galena, Ttr = Tetrahedrite)

Sample	Ast-23	Ast-23	Ast-14	Ast-14	Ast-1	Ast-1	Ast-1	Ast-1	Ast-14	Ast-14	Ast-14	Ast-14	Ast-14	
Mineral	Py	Py	Gn	Gn	Cpy	Cpy	Cpy	Cpy	Ttr	Ttr	Ttr	Ttr	Ttr	
Si	۰/۰	۰	۰/۰	۱/۰	۰/۰	۰	۰	۲۵/۲	۰/۵	۰	۰	۰	۱۹/۰	
S	۷۶/۵۲	۷/۵۲	۳۳/۱۴	۰/۷۱۶	۲۰	۲۶	۲۲	۳۵	۳۰	۶/۲۴	۸/۲۴	۵/۲۵	۹/۲۴	۲۲
Fe	۳۱/۴۷	۳۱/۴۷	۷۲/۱	۴۹/۲	۱/۲۷	۲۱	۲۰	۹/۱۷	۳۰	۲۶/۰	۲۱/۰	۳۲/۰	۲۷/۰	۰/۰
Co	۰	۰	۰/۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
Ni	۰	۰/۰	۰/۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
Cu	۰/۰	۰/۰	۰	۰/۰	۵/۵۲	۵/۵۳	۲/۵۳	۹/۳۳	۶/۳۱	۲/۳۷	۳/۳۷	۵/۳۸	۸/۳۷	۲/۲۶
Zn	۰	۰/۰	۰	۰/۰	۰	۰	۰	۰/۰	۰	۱۹/۵	۲۱/۵	۵۷/۵	۶/۵	۰
As	۰/۰	۰/۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰/۰	۰/۰	۸/۳	۳	۵/۷	۶/۴	۸/۱۲
Mo	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰/۰	۰	۰	۰	۰	۰	۳/۰
Ag	۰	۰	۰	۰	۰/۰	۰	۰	۰/۰	۰	۴۹/۱	۳۱/۱	۸/۰	۸/۰	۲۲/۰
Cd	۰	۰	۰	۱/۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰
Sb	۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰	۰/۰	۰	۰/۰	۰	۳/۲۵	۹/۲۶	۹/۱۹	۶/۲۳	۲/۷
W	۱۲/۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱۱/۰	۰/۰	۰/۰
Au	۰	۰/۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰/۰	۰/۰	۴۳/۰	۲۵/۰	۳۲/۰	۳۴/۰	۱/۱
Hg	۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰	۰/۰	۰	۰	۰/۰	۱۷/۰	۰	۰	۰	۰
Pb	۰	۰	۸۶/۸۱	۱۷/۷۹	۰/۰	۰	۰/۰	۰/۰	۱۶/۰	۰	۰	۰	۰	۳/۱
Bi	۰/۰	۰/۰	۱۲/۰	۲۱/۰	۰/۰	۰	۰/۰	۰/۰	۱۶/۰	۰	۰	۰	۰	۰
Te	۰/۰	۱/۰	۱۳/۰	۱۴/۰	۰/۰	۰	۰	۰	۱۷/۰	۰/۰	۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰
Ca	۰/۰	۱۶/۰	۰	۰	۲/۰	۰/۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۶۳/۰
Mn	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰
Total	۴۱/۱۰۰	۴۹/۱۰۰	۵۱/۹۸	۷۶/۹۸	۹۴/۹۹	۵۵/۱۰۰	۲۲/۹۵	۳۲/۸۹	۱/۹۷	۳/۹۸	۹۹	۳/۹۸	۸/۹۷	۸/۱۰۰

## Atomic proportions

Mineral	Py	Py	Gn	Gn	Cpy	Cpy	Cpy	Cpy	Ttr	Ttr	Ttr	Ttr	Ttr	
Si	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰/۰	۱۸/۰	۰	۰	۰	۰	
S	۹۴/۱	۹۴/۱	۴۴/۰	۰/۰	۶۲/۰	۸۱/۰	۸۶/۰	۰/۱	۹۳/۰	۷۶/۰	۷۷/۰	۷۹/۰	۷۷/۰	۹۸/۰
Fe	۸۴/۰	۸۴/۰	۰/۰	۰/۰	۶/۰	۴۶/۰	۴۴/۰	۳۹/۰	۶۶/۰	۰	۰	۰	۰	۰
Co	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
Ni	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
Cu	۰	۰	۰	۰	۸۲/۰	۸۴/۰	۸۳/۰	۵۳/۰	۴۹/۰	۵۸/۰	۵۸/۰	۶/۰	۵۹/۰	۴۱/۰
Zn	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰
As	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۱/۰
Mo	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
Ag	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰/۰	۰/۰	۰	۰	۰	۰
Cd	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
Sb	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰/۰	۲۲/۰	۱۶/۰	۱۹/۰	۰/۰	۰/۰
W	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
Au	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
Hg	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
Pb	۰	۰	۳۹/۰	۳۸/۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱/۰
Bi	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
Te	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
Ca	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
Mn	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰

دلیل اکسید شدن آن در رخنمون‌های سطحی است. میانگین عناصر As، Au و Hg در استیبنیت به ترتیب برابر با ۹/۵، ۳/۲ و ۱۰/۸ درصد است. طلای طبیعی در رگه‌های کوارتز-استیبنیت به همراه اکسیدهای استیبنیت و حفره‌های رگه‌های سیلیسی و نیز در داخل سولفیدها (به خصوص پیریت) یافت می‌شود. نهشت طلای طبیعی در استیبنیت به صورت مکانیکی بوده که در مرحله‌ی کانی‌سازی از یک شاره‌ی وراگرما و طی شکستن کمپلکس بی‌سولفیدی به همراه استیبنیت نهشت کرده است. در مرحله‌ی بعدی و طی هوازدگی استیبنیت و تبدیل آن به اکسیدهای استیبنیت (والنتینیت و استیبکونیت) طلای طبیعی نمود پیدا کرده است (شکل ۷، ت). میانگین Au در طلای ناتیو ۹۴/۷ درصد و Ag برابر با ۲/۴ درصد است (جدول ۵).

#### برداشت

اصلی‌ترین واحد سنگ‌شناسی در منطقه‌ی استرقان، یک استوک پورفیری (الیگوسن) است که به درون رسوب‌های فلیش کرتاسه بالابی-پالئوسن نفوذ کرده و به نوبه خود به وسیله‌ی دایک‌های میکرودیوریتی (بساً ائوسن) قطع شده است. استوک پورفیری استرقان از نظر ترکیبی در حد گرانیت، گرانودیوریت، کوارتز-مونزونیت و کوارتز-مونزونودیوریت است. پلاژیوکلاز، کوارتز، پاتاسیم فلدسپار از کانی‌های اصلی بوده که به وسیله‌ی کانی‌های فرعی مانند کلینوپیروکسن، بیوتیت، آمفیبول، آپاتیت، روتیل، زیرکن و کدر همراهی می‌شوند. کلریت، اپیدوت، بیوتیت دگر شکل یافته، سریسیت و کانی‌های رسی به عنوان کانی‌های ثانویه در این توده‌ی حضور دارند. توده پورفیری از نوع گرانیت‌های نوع I، پر آلمینیوس با سرشت آهکی قلیایی با پاتاسیم بالا و شوشوئنیتی بوده که از نظر زمین ساختی با قوس‌های آتش‌نشانی بسا برخورده وابسته‌اند.

رونده توزیع LREE در نمونه‌های وابسته به خانواده استرقان، به سمت MREE و HREE روند کاهشی نشان می‌دهند. غنی شدگی در عناصری نظیر La، U، Rb، Nd، Ce، Pr، Cs، Zr، P و تهی شدگی در عناصر Ta، Nb و مشاهده می‌شود. در اثر نفوذ این توده به داخل رسوب‌های فلیش، واحدهای دگرسانی دگرنهادی نسبتاً گستردۀ تشکیل یافته است.

#### تتراهدریت و تنانیت

سری محلول تتراهدریت-تنانیت (Cu,Ag)<sub>10</sub>(Hg,Zn,Fe)<sub>2</sub>Sb<sub>4</sub>S<sub>13</sub> - (Cu,Ag)<sub>10</sub>(Hg,Zn,Fe)<sub>2</sub>As<sub>4</sub>S<sub>13</sub> نسبت به دیگر کانی‌های گروه سولفosalت، جانشینی و رخداد گستردۀای نشان می‌دهند [۲۹]. تتراهدریتها در داخل رگه‌های کوارتز-کلسدونی در داخل توده‌ی پورفیری دیده شدن و دارای میان بارهای ریز و پراکنده از طلای طبیعی هستند. میانگین عناصر اصلی S، Cu، Sb و As در تتراهدریت به ترتیب برابر ۶/۳، ۳۲/۳، ۲۵/۳ و ۶/۳ هستند (جدول ۴). در آنالیز نقطه‌ای ترکیب یکی از فازهای سولفosalتی به صورت S٪ ۲۷/۰، Cu٪ ۴۰/۶، As٪ ۱۸/۹ و Sb٪ ۳/۹ اندازه‌گیری شد که نزدیک به قطب تنانیت است و مقادیر عناصر Zn، Fe، Bi و Zn و به مقدار کمتر ۳/۸ تعیین شدن. در این کانی Fe و Zn و به مقدار کمتر Hg، Pb، Ag می‌توانند جایگزین Cu شوند [۳۰]. بنابراین با توجه به این نتایج فرمول محاسبه شده برای این کانی به صورت (Cu<sub>9.36</sub> Pb<sub>0.26</sub> Zn<sub>1.04</sub>)S<sub>13</sub> (As<sub>1.04</sub> Sb<sub>2.6</sub>) به کانی است. طلای طبیعی از کانی‌های همراه با تتراهدریت است. میانگین طلای اندازه‌گیری شده برای تتراهدریت ۴۸۸۰ ppm (حداصل ۱۰۰۰ ppm و حداقل تا بیش از ۱۱۰۰۰ ppm) است. بیشترین مقدار نقره در این کانی به ۱۴۹ درصد نیز می‌رسد. در داخل این کانی ادخال‌هایی از کانی‌های سرب دار (احتمالاً ۷، پ) گالن مشاهده می‌شوند (شکل ۷).

#### گالن

گالن از کانی‌های با فراوانی بسیار پائین در منطقه است. در مقاطع بررسی شده، این کانی بیشترین هم یافته را با پیریت، کالکوپیریت، باریت و تتراهدریت نشان می‌دهد (شکل ۷، پ). میانگین عناصر اصلی S و Pb به دست آمده در گالن به ترتیب ۱۵/۲ درصد و ۸۰/۵۱ ppm است. حداقل فراوانی عناصر Zn و Cu در گالن به ترتیب ۴۰۰ و ۳۰۰ ppm است (جدول ۴). عناصر As و Zn به صورت جانشینی به جای Pb در شبکه‌ی گالن جای می‌گیرند. نسبت Sb/Bi در گالن برابر ۰/۴۲ بوده که نشان دهنده‌ی تشکیل آن در دمای پائین است [۳۱].

#### استیبنیت و طلای طبیعی

میانگین عناصر اصلی S و As در استیبنیت به ترتیب برابرند با ۲۰/۳۷ و ۶۵/۲۳ هستند. پایین بودن مقادیر Sb احتمالاً به

جدول ۵ نتایج آنالیز ریزپردازشی استیبنیت و طلای طبیعی در رگه‌های کوارتز-استیبنیت منطقه‌ی مورد بررسی؛ قسمت اول نتایج بر حسب درصد وزنی و قسمت دوم بر حسب نسبت‌های اتمی است (Stb=Stibnite).

Sample	Ast-33	GA	GA	GA						
Mineral	Stb.	Gold	Gold	Gold						
Si	۸/۰	-	-	-	-	۰/۵	-	۱۲/۰	۰/۹	۰/۸
S	۲/۴	۶۴/۲۱	۲۸/۱۶	۹۸/۲۲	۰/۴۲۰	۳۲/۱۸	۰/۹۱۹	۰/۳	۰/۴	۰/۳
Fe	۰/۲	-	-	۰/۱	-	۰/۴	-	۰/۶	۰/۳	-
Co	۰/۲	-	-	-	-	۰/۱	-	۰/۳	-	۰/۱
Ni	-	-	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۱	-	۰/۱	-
Cu	۱۱/۰	-	۰/۳	۰/۵	۱۲/۰	۷۱/۰	۹۵/۰	۰/۸	-	۰/۱
Zn	-	۰/۵	۰/۲	۰/۲	۰/۱	۰/۳	-	-	-	-
As	۶۴/۲	۵۷/۲	۲/۴	۳۲/۳	۲۹/۳	۵/۲	۳۲/۴	-	-	-
Mo	-	-	-	۰/۲	۰/۹	-	-	-	-	-
Ag	-	-	۰/۲	-	-	-	۰/۴	۵۴/۲	۱۵/۰	۹/۳
Cd	-	-	-	-	-	۰/۱	۰/۵	-	-	-
Sb	۲۲/۶۱	۰/۹۶۵	۰/۵۷۰	۱۶/۶۷	۰/۸۶۸	۰/۵۶۳	۰/۲۶۲	۳/۰	-	-
W	-	-	۰/۳	-	-	-	-	-	-	-
Au	۹۸/۹	۴۳/۱۰	۸۶/۹	۰/۷	۰/۹۸	۱۲	۰/۹۱۰	۱/۹۴	۵/۹۶	۶/۹۳
Hg	۰/۵	۰/۳	۰/۶	۱۷/۰	۰/۱	۰/۹۴	۲/۳	-	-	-
Pb	-	-	-	۰/۳	-	-	-	-	-	-
Bi	-	-	-	-	-	-	-	۰/۳	۰/۴	۰/۱
Te	۰/۱	-	-	۰/۵	-	۲/۰	-	۰/۲	-	-
Ca	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Mn	۰/۲	۰/۲	-	-	-	-	-	-	-	-
Total	-	-	-	-	-	۱۲	-	۳/۹۷	۸/۹۶	۶/۹۷
Atomic proportions										
Mineral	Stb.	Gold	Golds	Gold						
Si	۰/۰۲	-	-	-	-	-	-	۰/۰۱	-	-
S	۰/۷۵۸	۰/۶۷۵	۰/۵۰۸	۰/۷۱۷	۰/۶۲۵	۰/۵۷۱	۰/۵۹۵	-	-	-
Fe	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ni	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cu	-	-	-	-	-	۰/۰۱	۰/۰۱	-	-	-
Zn	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
As	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۵	۰/۰۴	۰/۰۴	۰/۰۳	۰/۰۵	-	-	-
Mo	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ag	-	-	-	-	-	-	-	۰/۰۲	-	۰/۰۳
Cd	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sb	۰/۵۰۳	۰/۵۳۵	۰/۵۷۵	۰/۵۵۲	۰/۵۵۹	۰/۵۱۸	۰/۵۰۹	-	-	-
W	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Au	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۳	۰/۰۴	۰/۰۶	۰/۰۵	۰/۴۷	۰/۴۸	۰/۴۷
Hg	-	-	-	-	-	۰/۰۲	۰/۰۱	-	-	-
Pb	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Bi	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Te	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ca	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Mn	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

*the Sungun-Chay river, East-Azabaidjan, Iran.* Journal of Asian Earth Sciences 28 (2004) 423-438.

[2] Mollai H., Sharma R., Pe- PiPer, G., *Copper mineralization around the Ahar(NW Iran): evidence for evolution and the origin of the skarn ore deposit*, Ore Geology Reviews 35 (2009) 401-414.

[3] Jamali H., Mehrabi B., "Relationships between arc maturity and Cu-Mo-Au porphyry and related epithermal mineralization at the Cenozoic Arasbaran magmatic belt", Ore Geol. Rev (2014) in press.

[۴] جمالی ح، "بررسی زمین‌شناسی، ژئوشیمی و تعیین ژنز احتمالی اندیس معدنی میوه رود، پایان نامه کارشناسی ارشد. (۱۳۷۷) دانشگاه تربیت معلم تهران. ۱۲۰ ص.

[۵] گلگون ن، "مطالعه آلتراسیون‌های و مینرالیزاسیون سنگ‌های میزبان رگه‌های ابی‌ترمال طلا دار در منطقه بوزلوخ و قره داش منطقه خروانق، پایان نامه کارشناسی ارشد (۱۳۸۰) دانشگاه تبریز. ۱۲۰ ص.

[۶] خضری م، "بررسی زمین‌شناسی، پتروزنر و ژئوشیمی سنگ‌های نفوذی و دگرگونی منطقه میوه رود(شرق خاروانا)، پایان نامه کارشناسی ارشد. (۱۳۸۰) دانشگاه تبریز. ۱۲۰ ص.

[7] Middlemost E. A. K., *Naming material in the magma igneous rock system*, Earth – Science Reveiws.37(1994) 215-224.

[8] Shand S.J., "Eruptive rocks: Their genesis, composition, Classification and their ralarion to Ore – deposits", 3 rd edition. John Wiely Sons, New York (1943) 488 p.

[9] Hastie A. R., Kerr A. C., Pearce J. A., Mitchell S. F. *Calssification of altered volcanic island arc rocks using immobile trace elements: development of the Th-Co discrimination diagram*", Journal of Petrology 48 (2007) 2341-2357.

[10] Pearce J. A., *Trace element characteristics of lavas from destru ctive plate boundaries. In: Trorpe R. S. (ed.), Andesite*", Wiley, Chichester, (1982) 525- 548.

[11] Boynton W.V., *Geochemistry of the rare earth elements: meteorite studies. In: Henderson, P. (Ed.), Rare Earth Element Geochemistry*". Elsevier, (1984) 63–114.

ترکیب پلاژیوکلازها در گستره‌ی آندزین و الیگوکلاز و پتاسیم فلدسپار در گستره‌ی سانیدین (ارتوز) قرار می‌گیرد. آمفیبول‌ها از نوع کلسیک بوده و ترکیب شیمیایی آن‌ها از مگنزیو-هستینگزیت تا ادنیت متغیر است. فشارسنگی فلدسپارها دمایی در حدود ۶۵۰- ۷۵۰ درجه‌ی سانتی‌گراد و فشارسنگی زوج هورنبلند- پلاژیوکلاز برای فشارهای ۱ تا ۱۰ کیلوبار دمای ۷۳۰ تا ۸۴۷ درجه‌ی سانتی‌گراد را برای سنگ‌های منطقه تعیین می‌کنند. بررسی‌های حاصل از آنالیز میکروپروب، علاوه بر استیوکیومتری دقیق کانی‌های اصلی نظیر پیریت، کالکوپیریت، تتراهدریت و استیبنیت باعث شناسایی دقیق تر کانه‌های فرعی مانند طلای طبیعی، گالن و تنانیت در منطقه مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاصل از بررسی‌های کانی‌های سولفیدی نظیر پیریت، کالکوپیریت، تتراهدریت و استیبنیت بیانگر مقادیر بالای طلا در این کانی‌ها بخصوص تتراهدریت و استیبنیت است. بنابراین کانه‌های سولفوسالتی و سولفیدی با دما پایین، از نظر میزانی طلا حائز اهمیت هستند. طلا علاوه بر حضور در کانه‌های سولفیدی و سولفوسالتی، به صورت مستقل (طلای آزاد) در رگچه‌های سیلیسی مشاهده می‌شود. حضور بالای عناصر ردیاب طلا نظیر Cu, Bi, Hg, Ag, Te با هاله‌های ژئوشیمیایی بررسی شده این عناصر در منطقه [۳۲]، نشان دهنده‌ی پتانسیل بالای منطقه از نظر کانی‌سازی فلزهای گرانبهاست. فراوانی بالای عناصری همچون Bi و Sb در کانی‌های سولفیدی نشانگر دمای پایین تشکیل این کانی‌ها در منطقه است.

### قدردانی

نگارندگان از حمایت‌های مادی و لجستیکی شرکت زرین داغ آستانه‌کان و مدیریت تحصیلات تکمیلی دانشگاه تبریز برخوردار بوده‌اند، لذا شایسته است نهایت سپاس و قدردانی خود را ابراز دارند. نگارندگان همچنین از خدمات مدیریت و کارمندان مرکز تحقیقات و فرآوری مواد معدنی و سازمان توسعه و نوسازی معادن (ایمیدرو) و همچنین داوران و دست اندکاران محترم مجله سپاسگزاری می‌نمایند.

### مراجع

- [1] Calagari A.A, Hosseinzadeh G., *The mineralogy of copper-bearing skarn to the east of*

- igneous rocks: the Etive complex, W Scotland".* Mineral Petrol 83 (2005) 27- 53.
- [23] Leake B. E., Woolley A. R., Birch W. D., Gilbert M. C., Grice J. D., Hawthorne F. C., Kato A., Kisch H. J., Krivovicher V. G., Linthout K., Laird J., Mandarino J., *Nomenclature of amphiboles-Report of the subcommittee on amphiboles of the international mineralogical association commission on new minerals and mineral names", European Journal of Mineralogy 9 (1997) 623-651.*
- [24] Holland T., Blundy J., *Non-ideal interactions in calcic amphiboles and their bearing on amphibole-plagioclase thermometry", Contributions to Mineralogy and Petrology 116 (1994) 433-447.*
- [25] Bakken B. M., Fleming R.H., Hochella M. F. Jr., *High-resolution microscopy of auriferous pyrite from the post deposit, Carlin district, Nevada,"* In: Hausen, D. M., Petruk, W., Hangi, R. D., and Vassiliou, A., eds., *Process mineralogy XL-characterization of metallurgical products: The Minerals, Metal and Materials Society, (1991) 13-23.*
- [26] Simon G., Kesler S. E., Chryssoulis S.L., Huang H., Penner-Hahn J.E., *Geochemistry and textures of gold-bearing arsenian pyrite, Twin Creeks Carlin type gold deposit. Nevada, implication for gold deposition", Economic Geology, v.3 (1999a) 123-176.*
- [27] Simon G., Huang H., Penner-Hahn J.E., Kesler S.E., Kao L.S. *Oxidation state of gold and arsenic in gold-bearing arsenian pyrite" , American mineralogist, v.84 (1999b) 1071-1079.*
- [28] Arehart G. B., Chryssoulis S.L., Kesler S. E., *Gold and arsenic in iron sulfide from sediment-hosted disseminated gold deposits. Implications for depositional processes", Economic Geology, v. 88 (1993) 171-185.*
- [29] Staude S., Mordhorst T., Neumann R., Prebeck W., Markl G., *Compositional variation of the tennantite\_tetrahedrite solid solution series in the Schwarzwald ore district (SW Germany)": The role of mineralization processes and fluid source.*
- [12] Jung S., Hoffer E., Hoernes S., *Neo-Proterozoic rift-related syenites (North Damara Belt, Namibia): Geochemical and Nd-Sr-Pb-O isotope constraints for mantle sources and petrogenesis", Lithos, 96 (2007) 415-435.*
- [13] Kikawada Y., "Experimental studies on the mobility of lanthanides accompanying alteration of andesite by acidic hot spring water", Chemical Geology 176 (2001) 137-149.
- [14] Wood S. A., "The aqueous geochemistry of the rare-earth elements and Yttrium. Theoretical predictions of speciation in hydrothermal solutions to 350 °C at saturation water vapor pressure", Chemical Geology 88 (1990) 99-125.
- [15] Sun S. S., McDonough W.F., *Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes", In: Sounders, A.D., and Norry, M.J. (eds.), Magmatism in ocean basins. Geol. Soc. London. Spec. Pub. 42 (1989) 313-345.*
- [16] Pearce J. A., *Role of the sub-continental lithosphere in magma genesis at active continental margins", In: Hawkesworth C.J. and Norry M.J. (eds,), Continental basalts and mantle xenoliths. Shiva, Natwich, (1983) 230-249.*
- [17] Wilson M., *Igneous petrogenesis: a global tectonic approach", Unwin Hymen, London, (1989) 466 p.*
- [18] Pearce J. A., Harris N. B. W., Tindle A. G., *Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks", Petrol., 25(1984) 956-983.*
- [19] Muller D., Groves D.I. *Potassic igneous rocks and associated Gold-Copper Mineralization". Second Updated and Enlarged Edition, Springer (1997) 238 p.*
- [20] Fuhrman M. L., Lindsey D. H., *Ternary feldspar modeling and thermometry", American Mineralogist. 73(1988) 201-215.*
- [21] Nekvasil H., *Ternary feldspar crystallization in high temperature felsic magmas", American Mineralogist". 77(1992) 592-604.*
- [22] Moazzen M., Droop G.T.R., *Application of mineral thermometry and barometers to granitoid*

[۳۲] فردوسی ر., کلاغری. ع. ا., حسین زاده. م. ر., سیاه چشم ک., "بررسی تئوشیمی و زمین آمار کانه‌زایی فلزات پایه و گرانبها در منطقه استرقان، خاروانا، آذربایجان شرقی", (۱۳۹۳) اولین همایش ملی کاربرد ریاضیات در علوم زمین. دانشگاه شیراز.

Mineralogical Magazine, April 2010, Vol. 74 (2) (2010) 309–339.

[30] Klein C., *Mineral science book*. University of New Mexico, (2002) 370 p.

[31] Song X., *Minor Elements and Ore Genesis Of the Fankou Lead-Zinc deposit*, China, Mineralium Deposita, 19 (1984) 95-104.