

سنگ زایی و روند تکاملی اسکارن آهن پنج کوه (خاور ایران)

نوشته: دکتر داریوش اسماعیلی*، مریم شبیبی* و دکتر علی کنعانیان*

Petrogenesis and Evolution of Panj-Kuh Iron Skarn (Eastern Iran)

By: Dr. D. Esmaeily*, M. Sheibi* & Dr. A. Kananian*

چکیده

کانسار آهن پنج کوه در ۵۰ کیلومتری جنوب خاور شهرستان دامغان واقع شده است. سنگهای آتشفشانی و آذرآواری انوسن با ترکیب آندزیت - تراکیت، میزان اصلی کانسار هستند. تزریق توده نفوذی با ترکیب اولیه مونزونیت کوارتزار در بخش مرکز و جنوب این محدوده به درون توالی رسوبی - آتشفشانی فوق سبب اسکارن زایی و به وجود آمدن کانسار آهن پنج کوه شده است. پیروکسن، اپیدوت و آمفیبول مهم ترین کانیهای باطله و مگنتیت (و هماتیت)، پیریت، کلکوپیریت، مالاکیت و آزوریت اجزای کانه این کانسار را تشکیل می دهند. دگرسانی گسترده سدیمی - کلسیمی که با حضور کانیهای آلپیت، اسکاپولیت، و کانیهای غنی از Ca و Mg (دیوپسید) مشخص می شود، دگرسانی پتاسیمی با گسترش محدودتر که منجر به تشکیل ارتوکلاز و بیوتیت شده است، حضور گسترده مگنتیت همراه با مقادیر فرعی پیریت و کلکوپیریت، و تشکیل مالاکیت و آزوریت در سنگهای آتشفشانی میزان، از مشخصات مهم کانی سازی در این ناحیه می باشند. همچنین بررسیهای ژئوشیمیایی نشان می دهند که توده آذرین پنج کوه دارای مقدار بالایی Sc, V, Ni, SiO₂, MgO و مقادیر پایین تری از K₂O و نسبت Rb/Sr است، ویژگیهای متاآلومین و شرایط محیطهای اکسیدی را به نمایش می گذارند. این مشخصات نشان می دهند که تشکیل نهشته موجود با کانسارهای اسکارنی همخوانی داشته و سیالهای متاسوماتیسم کننده، عامل اصلی تشکیل آن بوده اند. افزون بر این، مقایسه ترکیب میانگین عناصر اصلی و جزئی نفوذی پنج کوه با ترکیب میانگین توده های نفوذی همراه با دیگر اسکارنهای مختلف دنیا، نشانگر این است که کانسار آهن پنج کوه تا حدی ویژگیهای اسکارنهای طلا و مس را نیز نشان می دهد و لذا پی جویی این عناصر مهم در برنامه های اکتشافی آینده پیشنهاد می شود.

کلید واژه ها: پنج کوه، ایران، کانسار آهن، اسکارن، دگرسانی سدیمی - کلسیمی، دگرسانی پتاسیمی

Abstract

Panj-kuh iron ore deposit is located in 50 km southeast of Damghan. volcanic and pyroclastic rocks of the Eocene with composition of andesite-trachyte are the main host of the ore deposit. Injection of quartz monzonitic intrusion into volcano-sedimentary and volcanic rocks of the Eocene in the center and south of the study area has resulted in skarnization and formation of Panj-kuh iron deposit.

Pyroxene, epidote and amphibole are the main silicate minerals and magnetite (and hematite), pyrite, chalcopyrite, malachite and azurite are the ore minerals. Extensive abundances of the sodi-calsic alteration which is defined by presence of albite, scapolite, and Mg-Ca- mafic minerals (diopsid), and constricted potassic alteration with minor distribution which is defined by orthoclase and biotite, major magnetite accompanied with minor pyrite and chalcopyrit, formation of malachite and azurite within the volcanic rocks are the most important features of the area. Also, geochemical investigations show that the intrusive rock samples of Panj Kuh have high MgO, SiO₂, Ni, V, Sc and lower contents of K₂O and Rb/Sr. The samples plot in the chalk alkaline and alkaline in the AFM and SiO₂-(Na₂O+K₂O) diagrams respectively. They show metalminus and oxidation characteristics. These features are indications of the metasomatic skarn mineralization which formed by metasomatic fluid. Major and trace elements comparison of the Panj-kuh intrusion with other intrusions associated with skarn mineralization of the world, indicate some features of the gold and copper bearing skarns in the Panj-kuh skarn that recommend new exploration projects for the copper and gold in the Panj-kuh district.

Key word: Panj-kuh, Iran, Iron ore deposit, Skarn, Sodic – calcic alteration, Potassic alteration

۱- مقدمه

ناحیه تحت تأثیر گسلهائی قرار گرفته که با جهت شمال خاور - جنوب باختر امتداد دارند. دو گسل عطاری در شمال و انجیلو در جنوب مهم‌ترین گسلهائی موجود هستند و ماگماتیسیم شدید ترشیری هم در نتیجه جا به جایی این گسلها بروز کرده است (هوشمند زاده، ۱۳۵۷). سنگهای آتشفشانی از دو طرف خاور و باختر توده نفوذی را احاطه کرده و از اطراف توسط انباشته‌های آبرفتی و سیلابی کواترنری پوشیده می‌شوند. تراکی آندزیت بیوتیت و پیروکسن دار، آنالسیم تراکی آندزیت، بازالت تا تراکی بازالت ترکیب اصلی سنگهای آتشفشانی را تشکیل می‌دهند. شواهد سنگ نگاری و ژئوشیمیایی دگرسانی سدیمی - کلسیمی و پتاسیمی در توده نفوذی پنج کوه به طور کامل در اسماعیلی و همکاران (۱۳۸۳) آورده شده است و در اینجا تنها به ذکر این نکته بسنده می‌کنیم که بر اساس شواهد صحرایی، سنگ نگاری و داده‌های شیمی کل سنگ در توده نفوذی پنج کوه با ترکیب چیره مونزونیت - سینییت، دو نوع دگرسانی سدیمی - کلسیمی در مرکز و پتاسیمی در حاشیه توده تشخیص داده شده است.

۲- سنگ نگاری و کانه نگاری

بررسیهای سنگ نگاری و کانه نگاری نشان می‌دهند که کانیهای مگنتیت (و هماتیت)، پیریت، کلکوپیریت و کلینوپیروکسن (دیوپسید)، اپیدوت، آمفیبول (ترمولیت - اکتینولیت)، کلسیت و کوارتز از مهم‌ترین سازه‌های اسکارن پنج کوه هستند. به این ترتیب، اجزای تشکیل دهنده کانسار را در دو گروه باطله و کانه بررسی می‌شود.

۳-۱- باطله

نمونه برداری سیستماتیک از آندزیت‌های نسبتاً سالم تا نمونه‌های دگرسان شده مجاور توده نفوذی نشان داده است که بافت و ساخت اولیه در نمونه‌های محدوده بیرونی کانسار کاملاً حفظ شده است و بلورهای اولیه پلاژیوکلاز، کلینوپیروکسن (اوژیت) و هورنبلند هنوز آن چنان از بین نرفته‌اند که نتوان سنگ اولیه آندزیت هورنبلنددار را به خوبی تشخیص داد.

هجوم سیالهای گرمابی آهن‌دار به درون این سنگها با عدم پایداری برخی کانیها مانند فلدسپار، بیوتیت، هورنبلند و غیره همراه بوده و سبب پیدایش کانیهای ترمولیت - اکتینولیت، اپیدوت، کلسیت و کوارتز شده است (شکل ۲). مجموعه کانیایی اخیر از مهم‌ترین

ناحیه پنج کوه در شمالی‌ترین بخش واحد ساختار ایران مرکزی در دامنه جنوبی کویر چاه جم (حاج علی قلی) واقع است. کانسار آهن موجود با مختصات جغرافیایی $26^{\circ} 47' N$ و $35^{\circ} 26' 3'' E$ در شمال باختری توده نفوذی و درون سنگهای آتشفشانی و آذرآواری ائوسن واقع شده است (شکل ۱). دسترسی به منطقه پنج کوه از راه آسفالت دامغان به معلمان با فاصله ۵۰ کیلومتری از شهرستان دامغان و جاده خاکی موجود که به سمت کانسار آهن جدا می‌شود، امکان‌پذیر است.

بهره برداری از معدن آهن موجود با ذخیره کارشناسی ۱۰۰۰۰۰ تن و عیار میانگین ۷۰ درصد Fe_2O_3 و ۱۰ درصد FeO در سال ۱۳۷۳ زیر نظر شرکت کهران کویر آغاز و هم اکنون نیز فعال است. لازم به ذکر است که تاکنون بیش از ۱۰۰۰۰ تن از آن برداشت شده و سنگ آن برای استفاده در صنعت فولاد به کارخانه ذوب آهن اصفهان فرستاده می‌شود.

بیشتر کانه موجود در قالب توده‌های ریزدانه و پراکنده مگنتیت درون سنگهای آتشفشانی و آذرآواری ائوسن تا فاصله بیش از ۱۵۰ متری همبری آنها با توده نفوذی و بخصوص در توفهای کربناتی شده (واحد L۰ در شکل ۱) قرار دارد. از دیگر آثار معدنی موجود می‌توان به بی‌هنجاری پراکنده مس با حضور گسترده مالاکیت و به مقدار کمتر آزوریت درون آندزیتها و در حاشیه جنوبی کانسار آهن (شکل ۱) اشاره کرد که تعدادی تونل معدنکاری در امتداد قسمتهای مس دار حفر شده است. مالاکیت به صورت دانه‌های نسبتاً درشت و بیگانه ریخت فضای خالی سنگ میزبان را پر کرده و خود محصول تجزیه و اکسایش ترکیبهای مس دار است.

شواهد صحرایی و مطالعات سنگ نگاری و کانی شناسی حکایت از گسترش وسیع دگرسانی گرمابی در توده نفوذی را دارد (اسماعیلی و همکاران، ۱۳۸۳؛ شیئی، ۱۳۸۳) که با تشکیل کانسار پنج کوه بی‌ارتباط نیست. در این مقاله، ضمن معرفی کانسار آهن موجود و مطالعه کانی شناسی و کانه نگاری توده معدنی، آن را با سامانه‌های شناخته شده مشابه مقایسه کرده و در نهایت نحوه تشکیل و منبع اجزای سازنده آن با استفاده از داده‌های موجود، بررسی می‌شود.

۲- زمین شناسی عمومی

محدوده مورد مطالعه واقع در نقشه زمین شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ ورقه تروود و ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ معبد جزء زیر پهنه حوضه میانی است که به طور عام نام ایران مرکزی به آن داده‌اند (نوبی، ۱۳۵۵). ناحیه پنج کوه به طور عمده از سنگهای آذرین ترشیری تشکیل شده است و تحولات زمین شناسی این

همراه با مگنتیت به شمار می‌آیند. حالت برشی شدن و بافت کاتاکلاستی نیز در غالب نمونه‌ها به صورت مشخصی قابل مشاهده است که بی ارتباط با زون برشی موجود نیست.

به ندرت قطعاتی از **گوتیت** با بافت گل کلمی مشاهده می‌شود که به صورت جان‌شینی تشکیل شده و اشکال دروغین ناشی از دگرسانیهای کانیه‌های سولفیدی (بویژه پیریت) را به نمایش می‌گذارد. **مالاکیت** و **آزوریت** فراوان‌ترین کانی ثانویه مس و در واقع فراوان‌ترین کانی مس‌دار در نمونه‌های سطحی و کم‌عمق منطقه پنج کوه است که در اثر اکسایش کلکوپیریت حاصل شده‌اند. مالاکیت در بخشهای اکسیدی و به همراه سنگهای بخش بالایی کانسار، اغلب به صورت پرکننده فضاهای خالی حضور دارد. بیشترین گسترش این کانیه‌ها در آندزیت‌های جنوب کانسار مشاهده می‌شود.

باتوجه به پژوهشهای مذکور و مقایسه آن با ویژگیهای اسکارنهای آهن کلسیک (Forst, 1991) می‌توان دریافت کانسار آهن پنج کوه با داشتن ذخیره بیش از ۱۰۰۰۰۰ تن با عیار ۷۰ درصد آهن در قالب کانیه مگنتیت (پیریت و کلکوپیریت) و به میزبانی سنگهای آندزیتی - بازالتی ویژگیهای خاص اسکارنهای آهن کلسیک را نشان می‌دهد. نبود کانی گارنت در این مجموعه هیچ مغایرتی با اسکارن بودن آن ندارد؛ چرا که بسیاری از اسکارنهای با میزبان آتشفشانی و همچنین انواع منیزیمی فاقد گارنت هستند. بنا براین از دگرسانی گسترده سدیمی - کلسیمی در حاشیه و درون توده نفوذی که حلقه وار پیرامون کانسار را احاطه کرده است به عنوان **درون اسکارن** و کانیه‌های اولیه پیروکسن، مگنتیت، اپیدوت و کانی تأخیری اکتینولیت در سنگهای آتشفشانی به عنوان **برون اسکارن** یاد می‌کنیم.

۴- فرایندها و مراحل تکاملی اسکارن آهن پنج کوه

تحقیقات پژوهشگران مختلفی مانند لینگرن (در Einaudi et al., 1981) که در مطالعه کانسارهای اسکارنی پیشگام بوده‌اند، نشان داده است که اسکارنها می‌توانند در طی: ۱) دگرگونی همبری هم‌شیمیایی که همراه با جایگزینی ماگما صورت می‌گیرد؛ ۲) متاسوماتیسم که همراه با تبلور ماگما و تولید سیال کانه‌ساز انجام می‌شود؛ و یا ۳) دگرسانی پسروده که در مرحله آخر تبلور سیستم رخ می‌دهد، تشکیل شوند. درحالت اول یعنی نهشته‌هایی از اسکارنها که در همبری سنگ آهک و توده نفوذی تشکیل می‌شوند، گارنت، پیروکسن و اپیدوت

کانیه‌های باطله همراه با کانیه آهن به شمار می‌روند. همراهی اکتینولیت با پیروکسن و رشد این کانی در حاشیه آن حاصل دگرسانی است.

اگرچه این کانیه‌ها، گسترده‌ترین قسمت اسکارن (محدوده کانیه زایی شده) را به خود اختصاص داده‌اند، اما در بین آنها و به صورت پراکنده، مجموعه‌ای از کانیه‌های اپیدوت، آمفیبول (اکتینولیت)، کلسیت و کوارتز مشاهده می‌شود که رنگ سبز آنها در وهله اول خودنمایی می‌کند. اپیدوت موجود از انواع آهن‌دار یعنی پیستاسیت می‌باشد که در بیشتر اسکارنها حضور دارد.

اکتینولیت فراوان‌ترین کانی آبدار است که دارای ساختار رشته‌ای و بافت گل سرخی بوده و در بخشهای عمیق کانی‌سازی با مگنتیت هم‌رشدی نشان می‌دهد. اکتینولیت موجود در این مقاطع از اکتینولیت همراه با پیروکسن متفاوت است و به نظر می‌رسد به صورت مستقیم از سیال گرمابی نهشته شده باشد؛ چرا که گاهی رگه‌های ظریف اکتینولیت (به ضخامت چندمیلی متر تا چند سانتی‌متر) از میان کانیه‌های اپیدوت عبور می‌کند و نشان دهنده تأخیری بودن آنها نسبت به زمینه است (شکل ۳). کانیه‌های اکتینولیت، کوارتز، کلسیت و اپیدوت از محصولات اصلی دگرسانی سدیمی در منطقه مورد مطالعه هستند که به طور گسترده در کانسارهای مگنتیتی نوع گرمابی - ماگمایی گزارش شده‌اند (Arranciba & Clark, 1996).

۳-۲- کانیه‌ها

در همه مقاطع صیقلی مطالعه شده، **مگنتیت** با فراوانی بیش از ۸۰ درصد، مهم‌ترین کانیه اصلی کانسار را تشکیل می‌دهد. بلورهای مگنتیت با سختی بالا، رنگ خاکستری (در نور پلاریزه) و همچنین به صورت دانه ریز و دارای بافت افشان مشاهده می‌شوند (شکل ۴). گاهی تیغه‌ها یا اشکال نامنظمی از هماتیت‌های سفید رنگ در زمینه خاکستری مگنتیت (در نور پلاریزه) مشاهده می‌شود که ناشی از اکسایش این کانی است. این پدیده که مارتیتی شدن نام دارد، حاصل تشکیل هماتیت در سطوح رخ هشت وجهی مگنتیت می‌باشد (Vaughan & Craig, 1981).

پیریت به صورت بلورهای بی‌شکل و توده‌ای شکل و **کلکوپیریت** به صورت نیمه شکل‌دار و بلورهای پراکنده در زمینه سنگ همراه با مگنتیت حضور دارند (شکل ۵). کانیه‌های پیریت و کلکوپیریت، در مجموع با فراوانی ۵ درصد، از مهم‌ترین کانیه‌های

آبشویی فلزها در دگرسانی سدیمی - کلسیمی مرحله قبل شسته و کانه زایی Cu, Fe و (احتمالاً Au) را در میزان آتشفشانی ایجاد کرده است. ۳- حضور گسترده مگنتیت همراه با مقادیر فرعی پیریت و کلکوپیریت که نشان دهنده پایین بودن مقدار گوگرد فاز سیال می‌باشد.

۴- پراکنده شدن حجم وسیعی از مس به صورت مالاکیت و آزوریت در سنگهای آتشفشانی حاشیه جنوبی کانسار، دلیل دیگری بر پایین تر بودن مقدار گوگرد فاز سیال می‌باشد.

۵- رسوبات تبخیری موجود در توالی رسوبی - آتشفشانی که شباهت این ناحیه را به کانسارهای اکسیدی $Fe(Cu-Au)$ بیشتر کرده و چنین به نظر می‌رسد، اجزای لازم برای دگرسانی سدیمی - کلسیمی اولیه از این رسوبات تأمین شده‌اند (اسماعیلی و همکاران، ۱۳۸۳). به هر حال تعیین دقیق منشأ سیالها نیاز به داده‌های ایزوتوپی پایدار و میانبارهای سیال دارد که امید است در پژوهشهای بعدی صورت پذیرد.

چگونگی تشکیل این دو نوع سیال توسط Einaudi et al., (1981) با ارائه یک مدل ساده (شکل ۶) تشریح شده است. بر اساس نظر این محققان ماهیت سیال گرمابی نه تنها به مسیر بلکه به منشأ سنگهای میزبان آن نیز وابسته است. سامانه‌های وابسته به سیالهای ماگمایی (مس پورفیری و ...) در سمت راست و سامانه‌های وابسته به سیالهای غیر ماگمایی (دگرسانی سدیمی - کلسیمی و...) در سمت چپ شکل ۶ آورده شده است.

سامانه‌های ماگمایی قلیایی غالباً غنی از Cu و Au هستند و در مقابل ماگماهای نیمه قلیایی دارای الگوهای سامان مند در دگرسانی و منطقه بندی فلزها می‌باشند (Barton & Johanson, 2000). در بعضی مناطق مختلف دنیا، بر نقش این سیالها (غیرماگمایی) در انتقال فلزها به درون سامانه‌های ماگمایی تأکید شده است (Dilles, & Einaudi, 1992). چرخش سیالهای شور با منشأ خارجی که توسط همرفت گرمابی ناشی از سرد شدن توده نفوذی ایجاد می‌شود (شکل ۶ سمت چپ) هر دو نوع دگرسانی غنی از قلیایی دور و نزدیک (distal and proximal) به توده نفوذی را موجب خواهد شد. در این حالت حجم زیادی از فلزها در مسیر عبور سیالهای دگرسان کننده تا مسافتها آبشویی شده و سپس همراه با تشکیل فلدسپار پتاسیم و هماتیت در فواصل دورتر (قسمتهای سطحی تر) نهشته خواهند شد. مجموعه کانیهای همراه با این سیال فقیه از گوگرد، سرشار از مگنتیت (و هماتیت) با مقادیر فرعی کلکوپیریت (برنیت - کلکوپیریت) و پیریت خواهد بود. در چنین محیطهایی عناصر لیثوفیلی همانند REE, P و U می‌توانند تمرکز یابند. چنانچه این سیالها وارد سامانه‌های ماگمایی شوند (مرکز شکل ۶) گوگرد

و مگنتیتهای جایگزین شده در ارتباط با سنگهای آذرین و آهکهای دگرگون شده مشاهده می‌شوند. در حالت دوم، دگرسانی سدیمی با استفاده از حضور کانیهای اسکاپولیت - آلپیت مشخص می‌شود. منطقه بندی کانیهای کلسیمی سیلیکاتی در حالت اخیر به دلیل تنوع زیاد در سنگهای منشأ تشکیل دهنده اسکارن، گسترش چندانی ندارد و یا به سختی قابل تشخیص است.

منطقه بندی موجود در کانسار آهن پنج کوه کمی متفاوت از نهشته‌های اسکارن نوع اول است. چرا که ما شاهد دگرسانی گسترده سدیمی - کلسیمی، درون توده نفوذی و سنگهای آتشفشانی هستیم و هیچ گونه گارنتی در محدوده کانسار مشاهده نشده است، از طرفی سنگهای آتشفشانی با ترکیب آندزیت و همچنین توفهای کربناتی مهم ترین میزبان کانه هستند. بنابراین اسکارن آهن موجود با انواع متاسوماتیک (نوع دوم) شباهت داشته و از قوانین حاکم بر آنها پیروی می‌کند.

(Barton & Johanson, 2000) بر اساس شواهد زمین شناسی و ژئوشیمیایی، سامانه‌های گرمابی وابسته به سنگهای آذرین و غنی از اکسیدهای آهن را به دو گروه متفاوت تقسیم کرده‌اند. منشأ سیالهای گروه اول ماگمایی بوده و با سامانه‌های $Au-Cu$ پورفیری قابل قیاس هستند. این سیالها دارای سولفیدها و مقدار مگنتیت بالاتری بوده و کانه زایی آنها دردمای بالا و حین دگرسانی پتاسیمی صورت می‌پذیرد. سیالهای گروه دوم غالباً دارای منشأ غیرماگمایی بوده و با اکسیدهای فراوان آهن (مگنتیت و یا هماتیت) همراه هستند. افزون بر این، مقدار پایین گوگرد، نسبت پایین Si/Fe و همچنین حجم بالای دگرسانی سدیمی - کلسیمی که عموماً با انواع غنی از پتاسیمی ادامه می‌یابد، از مهم ترین شاخصهای آنهاست. بنابراین کانسار آهن پنج کوه با داشتن ویژگیهای زیر در گروه دوم قرار می‌گیرد:

۱- دگرسانی گسترده سدیمی - کلسیمی در حجم وسیعی از سنگهای نفوذی که از حاشیه خاوری تا مرکز و نزدیکی حاشیه باختری توده مشاهده می‌شود و با حضور قابل ملاحظه کانیهای آلپیت، اسکاپولیت سدیم دار (ماریالیت) و کانیهای مافیک غنی از Ca و Mg (آمفیبول سدیمی و کلینوپیروکسن نوع دیوپسید) همراه است. مجموعه کانیهای اخیر به صورت نواری در حاشیه بیرونی توده نفوذی و دور تا دور کانسار را احاطه کرده است که از آن به عنوان درون اسکارن (اسکاپولیت اسکارن) یاد شد (شکل ۱).

۲- دگرسانی پتاسیمی با گسترش محدود که تنها در گوشه باختری توده و در همبری با سنگهای آتشفشانی صورت پذیرفته است و طی آن کانیهای ارتوکلاز و بیوتیت به وجود آمده‌اند. سیال گرمابی در این مرحله حاوی مقادیر فراوانی K, Fe, Cu (احتمالاً Au) بوده که آنها را از طریق

محتوای گوگرد و بویژه جدایش سیال / مواد فرار و محتوای فلزی همراه با اسکارنها اهمیت بسیار دارد (Newbery & Swanson, 1986; Meinert, 1995; Meinert, 1992). اگرچه شیمی کل سنگ اختلافات قابل ملاحظه‌ای را در بین نفوذیهای همراه با اسکارنها نشان می‌دهد، کانی شناسی اکسیدها و جدایش آنها در فازهای کانیایی، نسبت به تجزیه شیمی کل سنگ، جزئیات بیشتری از حالت اکسیدی ماگما را باز می‌نمایاند (Forst, 1991). برای مثال، مقایسه میانگین توده‌های نفوذی همراه با اسکارنها نشان می‌دهد که توده‌های همراه با اسکارنهای Au-Sn بیشتر کاهیده و توده‌های نفوذی همراه با اسکارنهای Mo و Cu و Zn و Fe بیشتر اکسیدی‌اند (شکل A-B) در این نمودار نیز کانسار آهن پنج کوه در نزدیکی اسکارنهای آهن تصویر شده است.

۵-۲- عناصر جزئی

در مطالعات سنگ زادی سنگهای آذرین، عناصر اصلی و جزئی (و یا نسبت آنها) در شناخت هر چه بیشتر فرایندهای اساسی کمک می‌کنند (Pearce et al., 1984). در شکل A-۱۰ رفتار عناصر جزئی در توده‌های نفوذی همراه با انواع اسکارنها به همراه اسکارن آهن پنج کوه داده شده است. بین اسکارنهای آهن با مقادیر بالاتر Sc و پایین‌تر Rb یک ارتباط خطی وجود دارد، در حالی که توده‌های نفوذی همراه با اسکارنهای Cu, Zn, Sn و Au مقادیر نسبتاً بالاتر Rb و پایین‌تر Sc را دارند. سنگهای نفوذی مورد مطالعه در مقایسه با نفوذیهای همراه با اسکارنهای Fe، از محتوای Rb کمتری برخوردارند (شکل A-۱۰) که پیشنهاد می‌کند نسبت به آنها تفریق کمتری یافته و یا محتوای پوسته‌ای کمتری داشته است.

محتوای میانگین نیکل توده نفوذ پنج کوه نیز ۱۵ ppm است که کمتر از میانگین آن برای گرانیتوئیدهای اسکارن Fe (تقریباً یک سوم آن) بوده، اما کاملاً نزدیک به میانگین Ni نفوذیهای همراه با اسکارنهای Au و Cu است که این موضوع، ارزیابی پتانسیل این دو عنصر را در کانسار مزبور پیشنهاد می‌کند.

نمودار دیگری که در تفهیم سنگ زایی توده‌های نفوذی بسیار سودمند است، تغییرات عناصر جزئی LIL متحرک مانند Sr, Rb و K نسبت به عناصر غیرمتحرک HFS مانند Ti, Nb, P, Zr است. برای مثال اهمیت نسبی تفریق می‌تواند از طریق تصویر کردن Rb/Sr (که به شدت نسبت به تفریق حساس می‌باشد) در مقابل Zr اندازه‌گیری شود (شکل C-۹). با

و با فلزهای اضافی می‌تواند عناصر کالکوفیلی را که هنوز باقی مانده‌اند، نهشت دهند.

۵- مقایسه ترکیب سنگهای نفوذی پنج کوه با توده‌های نفوذی همراه با اسکارنهای جهان:

شناخت توده‌های نفوذی همراه با اسکارنها، راهنمای خوبی بر ترکیب سنگهای آذرین، محتوای فلزی آنها و همچنین ویژگیهای دگرسانی همراه با اسکارنهاست. روابط بین ترکیب توده نفوذی و نوع اسکارنهای به وجود آمده، توسط محققان مختلف بررسی شده است (برای مثال: Newbery & Swanson, 1986; Meinert, 1995; Ray et al., 1995). به منظور بررسی زایش کانسار آهن پنج کوه و همچنین تأثیر فرایندهای ماگمایی در کانه‌زایی، ترکیب میانگین نمونه‌های مونوزونیتی محدود مورد مطالعه، از نظر ژئوشیمیایی با توده‌های نفوذی همراه با اسکارنهای مختلف دنیا (Meinert, 1995) مقایسه می‌شود.

۵-۱- عناصر اصلی

عناصر اصلی توده نفوذی پنج کوه (جدول ۱) با میانگین ترکیب گرانیتوئیدهای مختلف همراه با اسکارنها (Meinert, 1995) مقایسه شده است. تفاوت بین اسکارن آهن و دیگر اسکارنها در نمودار MgO در برابر Na_2O+K_2O ، SiO_2 و همچنین FeO در برابر $Fe_2O_3 / (Fe_2O_3 + SiO_2)$ آورده شده است (شکل ۷ و ۸). همان گونه که در شکل B و A-۷ آشکاراست، ترکیب میانگین توده نفوذی پنج کوه در نزدیکی محل پیشنهادی مینرت برای اسکارنهای آهن قرار گرفته است.

از لحاظ فراوانی عناصر اصلی، بیشتر توده‌های نفوذی همراه با اسکارن، سنگهای کلسیمی-قلیایی هستند (شکل B-۷). محتوای کل عناصر قلیایی توده نفوذی پنج کوه (۷۲ درصدوزنی) میان ترکیب میانگین اسکارنهای Fe و Cu قرار گرفته و وجود احتمالی Cu را پیشنهاد می‌کند (شکل C-۷). از لحاظ سیرشدگی از Al نیز، بیشتر آنها، به خط تقسیم متآلومین و پرآلومین (که به دلیل دگرسانی فلدسپار پتاسیمی و پلاژیوکلاز منجر به از دست رفتن K, Na, Ca، و افزایش Al شده است) نزدیک هستند و تقریباً هیچ کدام در محدوده پرآلکالن مشاهده نشده‌اند (شکل A-۸).

از بین عناصر اصلی، تنها آهن در دو ظرفیت Fe^{+2} و Fe^{+3} مشاهده شده است. بنابراین آهن موجود در توده نفوذی می‌تواند اطلاعاتی راجع به حالت اکسایش ماگما را در اختیار قرار دهد. این عامل در

و کلینوپروکسن نوع دیوپسید) شده است. در طی این مرحله حجم وسیعی از آهن و فلزهای پایه شسته شده و باعث پیدایش موزونیت ثانویه (بدون کوارتز، مگنتیت و بیوتیت) و سیالی غنی از آهن و فقیر از گوگرد و منیزیم شده است.

نهشت مگنتیت در طی دگرسانی پتاسیمی با گسترش محدود در گوشه باختری توده و سنگهای آتشفشانی در همبری صورت پذیرفته است. این دگرسانی با حضور کانیهای بیوتیت و ارتوکلاز و مگنتیت در توده نفوذی مشخص می‌شود. سیال گرمایی در این مرحله (کانسار سازی همراه) حاوی مقادیر فراوانی پتاسیم، آهن، مس و (احتمالاً طلا) بوده است.

ته نشینی کانیهای سولفیدی به دنبال این مرحله روی داده و مگنتیت (و همتایت در نواحی سطحی‌تر) و سولفیدهای فلزی پیریت و کلکوپیریت با فراوانی پایین را همراه با مجموعه‌های حاصل از دگرسانی پسروده (اکتینولیت، کلریت، کلسیت و کوارتز) به وجود آورده است. پایین بودن کانی سازی سولفیدی و پراکنده شدن کانیهای مالاکیت و آزوریت در سنگهای آندزیتی نشان دهنده محتوای پایین فاز سولفید در سیال است که احتمالاً دلیل دیگری بر غیرماگمایی بودن دست کم بخشی از سیالهای کانه ساز در ناحیه مورد مطالعه می‌باشد. از سوی دیگر، با مقایسه ترکیب میانگین نفوذی پنج کوه با ترکیب میانگین توده‌های نفوذی همراه با دیگر اسکارنهای مختلف دنیا، مشخص شد که کانسار مورد مطالعه با سامانه‌های اسکارنی به خوبی همبستگی دارد. همچنین این نتایج نشان داد که کانسار آهن پنج کوه در بعضی از موارد، ویژگیهایی شبیه اسکارنهای طلا و مس نیز نشان می‌دهد که پی جویی این عناصر مهم در برنامه‌های اکتشافی آینده پیشنهاد می‌شود.

سپاسگزاری

این پژوهش مستخرج از طرح تحقیقاتی "بررسی سنگ شناختی-ژئوشیمیایی توده نفوذی پنج کوه (جنوب خاور دامغان) با نگرشی ویژه به کانه زایی آهن" به شماره ۵۱۲/۴/۶۳۵ است که با پشتیبانی مالی معاونت محترم پژوهشی دانشکده علوم دانشگاه تهران انجام شده است و بدین وسیله از آن معاونت محترم تشکر و قدردانی می‌گردد. همچنین از جناب آقای دکتر جمشید حسن زاده عضو محترم هیئت علمی دانشکده علوم دانشگاه تهران به خاطر مشاوره علمی و جناب آقای مهندس جمشید روح شهباز عضو محترم هیئت علمی دانشکده فنی دانشگاه تهران به خاطر همکاری در تهیه و مطالعه مقاطع صیقلی و مشاوره علمی ایشان و همچنین از

توجه به این نمودار می‌توان دریافت که توده‌های نفوذی همراه با اسکارنهای W و Mo و بویژه Sn شواهدی از تفریق شدید را نشان داده اما سامانه‌های اسکارنی Fe, Au و Zn کمتر تفریق یافته‌اند. در این نمودار نیز، کانسار آهن پنج کوه در مجاورت اسکارنهای Fe قرار گرفته است. مینرل در انتخاب نمونه‌های تجزیه شده توضیح می‌دهد که اگرچه سعی شده است که از نمونه‌های سالم موجود برای تجزیه استفاده شود، اما همه سنگهای آذرین نفوذی همراه با اسکارنها، تا حدودی دگرسان شده‌اند و تفاوت بین نمونه‌های دگرسان شده و کمتر دگرسان شده تنها بر پایه مشاهدات فیزیکی است. انتخاب نمونه‌های نفوذی پنج کوه نیز با دقت خاصی صورت گرفته که در نهایت، ترکیب میانگین نمونه‌های موزونیتی مورد مطالعه با ترکیب میانگین نفوذیهای همراه با اسکارنهای Fe مطابقت نشان داده‌اند.

یکی دیگر از کاربردهای عناصر جزئی، توصیف زمین ساختی یا زمین شناسی توده‌های نفوذی است (Pearce et al., 1984). در شکل ۱۲ نمودار Nb در برابر Y به نمایش در آمده است. در این تصاویر نیز ملاحظه می‌گردد که بیشتر نفوذیهای همراه با اسکارنهای Fe, Au و Cu و Zn در کمانهای آتشفشانی و اسکارنهای Mo و Sn و W در موقعیت گرانیتیویدهای درون قاره‌ای تصویر شده‌اند. کانسار آهن پنج کوه نیز مانند اسکارنهای Fe در قلمرو کمانهای آتشفشانی تصویر شده است.

به این ترتیب ویژگیهایی مانند: ۱) محتوای بالاتر MgO و SiO₂ و مقادیر پایین‌تر K₂O نسبت به دیگر اسکارنها؛ ۲) ویژگیهای ماگماهای کلسیمی - قلیایی در نمودار AFM و قلیایی در نمودار K₂O+Na₂O در برابر SiO₂؛ ۳) ویژگی متاآلومین و قرارگیری در انواع ماگماهای اکسیدی؛ ۴) محتوای بالای عناصر سازگاری همچون Ni, V, Sc و نسبت Rb/Sr کوچک‌تر از یک؛ نشان‌دهنده شباهت توده نفوذی همراه با اسکارن آهن پنج کوه با دیگر نفوذیهای همراه با اسکارنهای آهن شناخته شده می‌باشد.

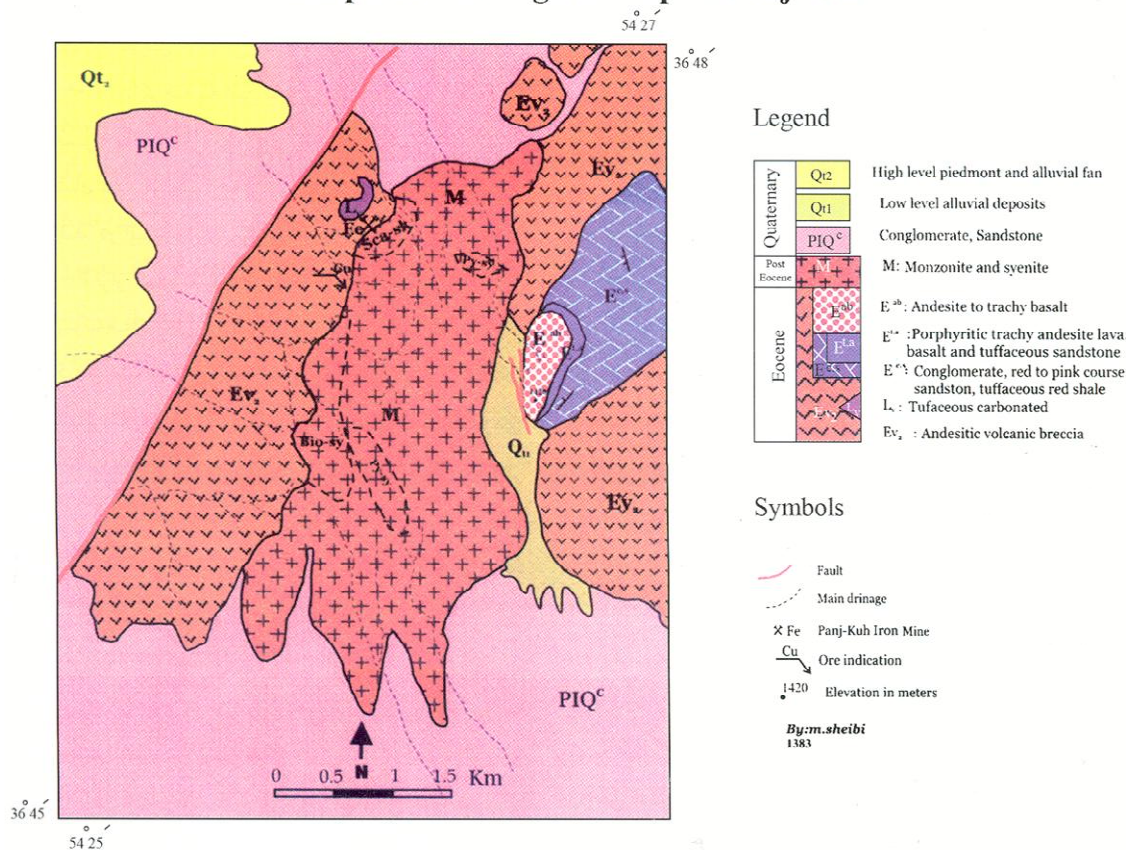
۶- نتیجه‌گیری

تزریق توده نفوذی پنج کوه به درون مجموعه‌ای از سنگهای آتشفشانی (در سمت باختر توده) و توالی رسوبی - آتشفشانی (در سمت خاور) به صورت یک موتور گرمایی عمل کرده و سبب چرخش سیالها از درون رسوبات و کشیده شدن آنها به سمت منابع داغ ماگمایی شده است. ترکیب این سیالها با فازهای ماگمایی سبب گسترش فراگیر دگرسانی گرمایی سدیمی - کلسیمی از خاور تا مرکز و نزدیکی حاشیه باختری توده و به وجود آمدن مجموعه کانیایی اسکاپولیت سدیم‌دار (ماربالت)، آلپیت، آنالسیم، کانیهای مافیک غنی از کلسیم و منیزیم (آمفیبول سدیمی

مسائل علمی سپاسگزاری می گردد.

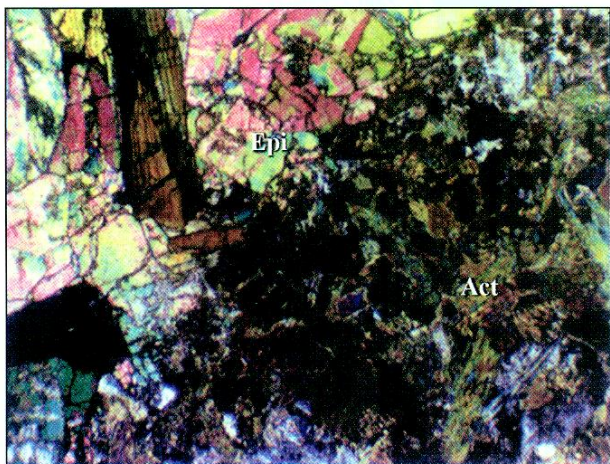
پروفسور بارتن و پروفسور مینرت اساتید دانشگاه های آریزونا و واشینگتن آمریکا به خاطر ارسال مقالات و پاسخگویی صریح به

Simplified Geological Map of Panj-Kuh

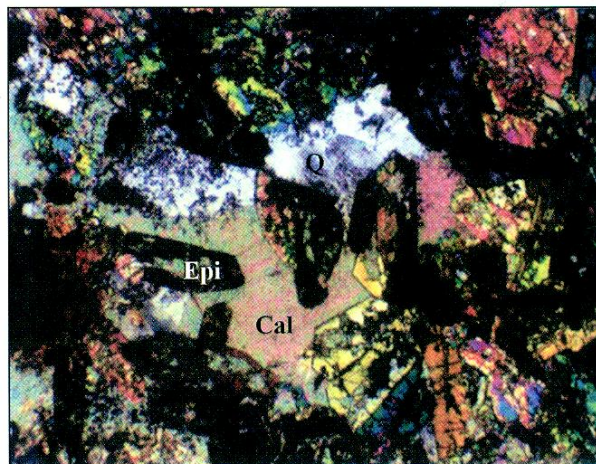


شکل ۱- نقشه زمین شناسی ساده شده محدوده پنج کوه دامغان که بر روی آن محدوده تقریبی واحدهای مختلف توده نفوذی نمایش داده شده است (شیبی، ۱۳۸۳). علائم زیر جهت نمایش واحدهای مختلف توده نفوذی به کار رفته است.

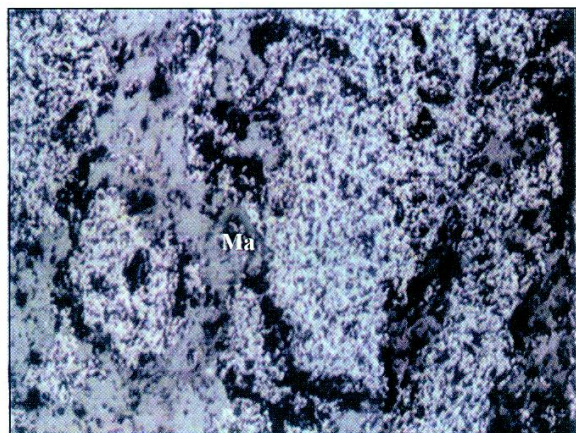
Sca-SK: اسکاپولیت اسکارن M: مونزونیت Py-S: پیروکسن سینیت Bio-S: بیوتیت سینیت



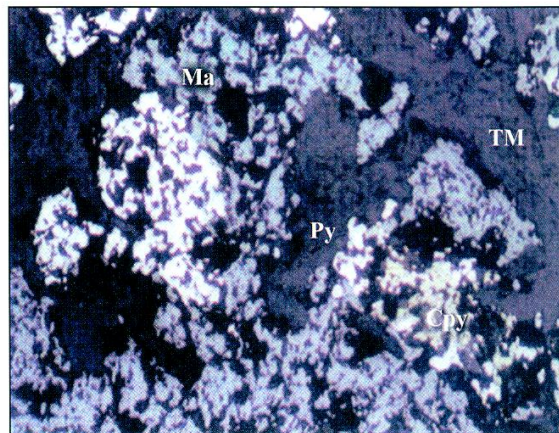
شکل ۳- رگچه‌ای از اکتینولیت ریزدانه در زمینه‌ای از کانیهای اپیدوت که حاصل دگرسانی سنگهای آتشفشانی در محدوده کانسار می‌باشد. نور پلاریزه و بزرگنمایی ۳۳ برابر.



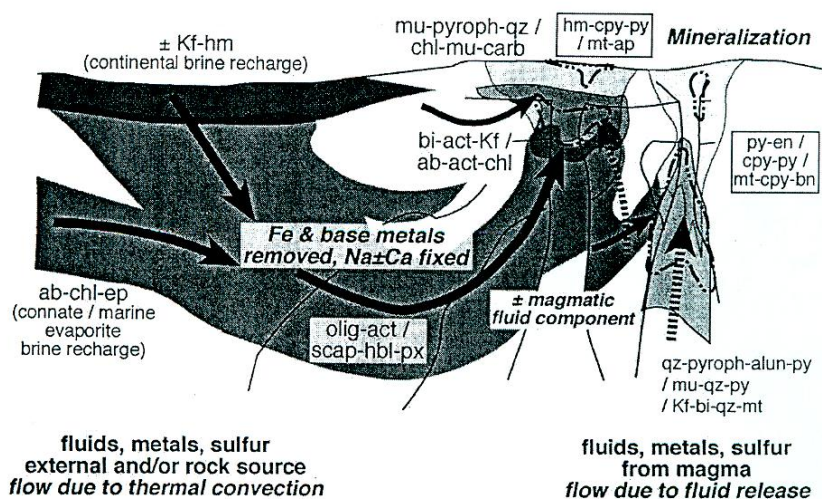
شکل ۲- مجموعه‌ای از کانیهای اپیدوت خود شکل، کوارتز و کلسیت که مهم‌ترین کانیهای باطله همراه با مگنتیت می‌باشند. این مجموعه در سنگهای آتشفشانی تحت تأثیر دگرسانی گرمایی به وجود آمده‌اند. نور پلاریزه و بزرگنمایی ۳۳ برابر.



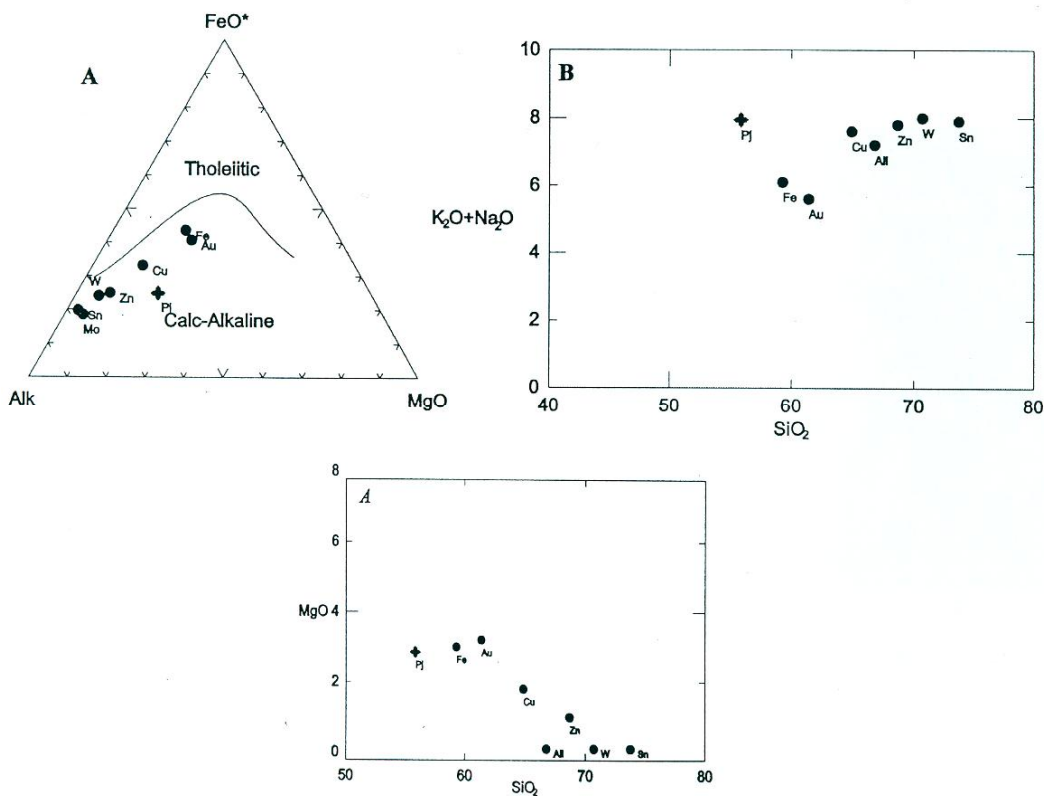
شکل ۵- مگنتیت (قطعات خاکستری) پیریت (به رنگ سفید) و کلکوپیریت (به رنگ زرد طلایی) در نمونه‌های کانسار آهن پنج کوه. نور پلاریزه بازتابی و بزرگنمایی ۱۰۰ برابر.



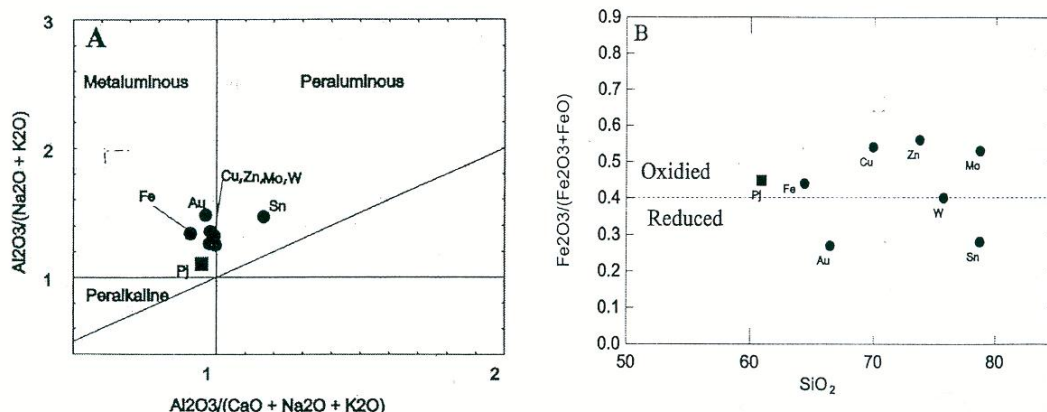
شکل ۴- بلورهای دانه ریز مگنتیت دارای بافت افشان که در زمینه‌ای از کانیهای باطله پراکنده شده‌اند نور پلاریزه بازتابی و بزرگنمایی ۶۸ برابر.



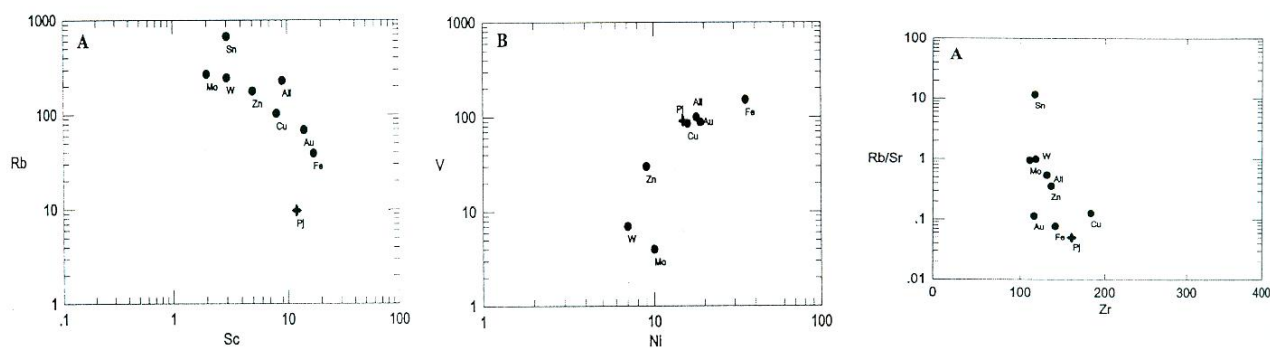
شکل ۶- مدل فرضی ساده شده‌ای از دگرسانی گرمایی و کانه‌زایی برای سیالهای دارای منشأ و سنگ میزبان متفاوت به تصویر در آمده است (Einaudi et al., 1981).



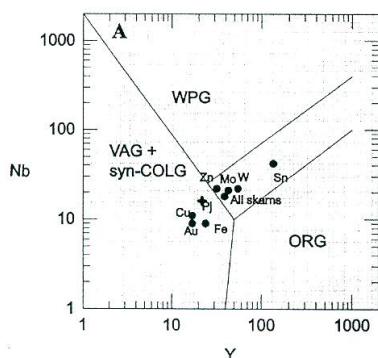
شکل ۷- نمودارهای AFM (A) و تغییرات عناصر (B) MgO و (C) Na₂O+K₂O در برابر SiO₂ برای ترکیب میانگین توده‌های نفوذی همراه با اسکارنهای مختلف دنیا (اقتباس از Meinert, 1996) و موقعیت ترکیب متوسط توده نفوذی پنج کوه (Pj) بر روی آنها.



شکل ۸- درجه سیرشدگی از آلومینیم (A) و حالت اکسیده و کاهیده ماگماها در نمودار $Fe_2O_3/(Fe_2O_3 + FeO)$ در برابر SiO_2 (B) برای توده‌های نفوذی همراه با اسکارنهای مختلف که اسکارن آهن پنج کوه نیز بر روی آن نمایش داده شده است (داده‌ها از Meinert, 1992).



شکل ۹- محتوای عناصر جزئی توده‌های نفوذی همراه با نهشته‌های اسکارن، شکل (A) Sc-Rb و شکل (B) V - Ni و شکل (C) Rb/Sr-Zr را نشان می‌دهد (داده‌ها از Meinert, 1992). به موقعیت اسکارن آهن پنج کوه (PJ) توجه شود.



شکل ۱۰- نمودارهای پراکندگی عناصر جزئی که محدوده‌های همزمان با برخورد (Syn - Col) و کمانهای آتشفشانی (VAG) و توده‌های نفوذی درون قاره‌ای (WPG) و پشته میان اقیانوسی (ORG) را نشان می‌دهد (Pearce et al., 1984P). همان گونه که ملاحظه می‌شود اسکارنهای Zn و Cu و Au و Fe و اسکارن آهن پنج کوه (PJ) با توده‌های نفوذی که در میدان کمان آتشفشانی واقع شده‌اند همراه هستند (داده‌ها از Meinert, 1992).

جدول ۱- نتایج تجزیه شیمیایی سنگهای نفوذی پنج کوه (جنوب خاور دامغان). اکسیدهای عناصر اصلی بر حسب درصد وزنی و عناصر جزئی بر حسب ppm است.

SS	M 1	M 2	M 3	M 4	M 5	Py-Sy 6	Py-Sy 7	Py-Sy 8	Py-Sy 9	Bio-Sy 10	Bio-Sy 11	Bio-Sy 12
SiO ₂	56.36	55.9	55	55.1	56.04	54.39	53.83	54.92	54.66	56.91	56.98	56.06
TiO ₂	0.7	0.78	0.75	0.67	0.67	0.7	0.75	0.7	0.5	0.45	0.5	0.48
Al ₂ O ₃	18.99	19	18.6	18.2	18.26	18.54	17.79	17.6	18.46	16.52	18.2	18.16
Fe ₂ O ₃	0.87	0.95	1.17	0.93	1.35	2.59	2.58	2.54	2.59	1.37	2.34	2.27
FeO	1.21	1.29	1.66	1.21	1.92	2.71	2.78	2.59	2.21	1.45	2.02	2.06
MnO	0.1	0.08	0.08	0.09	0.05	0.06	0.08	0.06	0.03	0.03	0.06	0.09
MgO	2.65	2.85	2.63	2.68	2.75	2.42	2.82	2.55	0.82	1.17	1.28	1.35
CaO	8.29	9.06	8.58	7.99	8.67	5.5	5.19	4.69	2.79	2.56	2.38	2.63
Na ₂ O	6.75	7.3	6.92	7.68	6.93	4.68	4.48	4.35	4.45	5.28	5.31	5.12
K ₂ O	0.99	0.64	0.7	0.65	0.59	5.76	5.71	6.28	7.85	4.9	6.71	6.52
P ₂ O ₅	0.38	0.45	0.4	0.38	0.4	0.38	0.43	0.36	0.24	0.21	0.21	0.24
Total*	97.28	98.2	96.5	95.6	97.64	97.73	96.45	96.63	94.58	90.86	96.01	94.99
Cr	54	80	60	87	120	67	49	47	52	95	52	68
Ni	8	15	11	11	23	16	21	20	19	8	14	10
Co	5.5	5.9	5.7	5.6	6.5	9.4	11.8	10.6	5.1	3.4	8.3	7.9
Sc	12	12	12	12	11	11	11	11	6	5	6	6
V	105	90	142	93	171	143	145	134	98	63	68	71
Rb	22.9	9.7	11.9	12.9	9.7	93.7	120	108	121	78.9	167	156
Cs	0.8	0.9	1.1	35.8	0.7	1.7	2.5	2.3	2.1	0.7	3.8	3.6
Ba	182	141	164	146	110	658	676	773	1300	868	579	471
Sr	1830	1870	1790	1770	1700	1180	1160	1110	1130	1090	651	633
Ga	22	21	21	20	21	20	19	20	18	22	21	21
Ta	0.8	0.9	1	1.2	0.7	0.8	0.8	0.8	0.7	0.8	1.4	1.2
Nb	14	16	14	14	13	15	14	14	13	14	24	20
Hf	4	4	3	4	3	4	3	3	4	3	6	5
Zr	138	158	100	131	108	102	97.8	118	145	108	221	172
Ti	0.42	0.47	0.45	0.4	0.4	0.42	0.45	0.42	0.3	0.27	0.3	0.29
Y	22.3	21.9	23.4	18.9	17.9	20	20.4	20.1	15.4	12.7	22.2	20.2
Th	10.7	10.8	9.8	11.1	7.9	11.2	9.1	11.4	7.3	9.6	21.1	15.7
U	2.18	1.76	1.63	1.65	1.35	2.53	2.14	2.62	1.92	2.28	4.93	3.65
La	31.7	32.7	30.7	29.6	27.8	32.7	37.1	27.8	24.4	24.8	51.1	48.7
Ce	78.8	75.8	73.4	70.5	66	73.3	77.4	61.2	50.9	59.1	95.7	90.3
Nd	39.1	35.7	36.4	31.7	31.7	32	34.5	30.6	23.4	29.7	35.6	35.4
Sm	6.9	6.7	6.9	5.5	5.6	6.3	6.4	6.1	4.4	5.7	6	6
Eu	2.08	1.99	2.09	1.8	1.79	1.46	1.6	1.57	1.5	1.74	1.29	1.38
Gd	6.35	6.03	6.51	5.04	5.31	5.73	5.73	5.31	3.92	4.63	5.42	5.41
Yb	2.3	2.2	2.3	2	1.8	2	1.9	1.9	1.6	1.2	2.4	2.3

*: Total بدون LOI است.

کتابنگاری

- اسماعیلی، د.، شیبی، م.، کنعانیان، ع.، ۱۳۸۳ا- شواهد پتروگرافی و ژئوشیمیایی آلتراسیون سدی-کلسیک و پتاسیک در توده نفوذی پنج کوه (شرق ایران)، مجله علوم، زیر چاپ.
- اسماعیلی، د.، شیبی، م.، کنعانیان، ع.، ۱۳۸۳ب- خاستگاه اسکاپولیت در توده نفوذی پنج کوه (جنوب شرق دامغان)، مجله بلور شناسی و کانی شناسی ایران، سال دوازدهم، شماره دو، پاییز و زمستان ۱۳۸۳.
- شیبی، م.، ۱۳۸۳- پترولوژی و ژئوشیمی توده نفوذی و اسکارن آهن پنج کوه (جنوب شرق دامغان)، رساله کارشناسی ارشد، دانشکده علوم، دانشگاه تهران. ۱۳۵ص.
- نبوی، م. ح.، ۱۳۵۵- دیباچه ای بر زمین شناسی ایران - انتشارات سازمان زمین شناسی کشور.
- هوشمندزاده، ع.، علوی، م.، حقی پور، ع.، ۱۳۵۷- تحول پدیده‌های زمین شناسی ترود، سازمان زمین شناسی کشور، گزارش شماره H5.

References

- Arranciba, O.N. & Clark, A.H., 1996- Early magnetite-amphibole- plagioclase alteration – mineralization in Island copper porphyry copper – gold – molybdenum deposit, British Columbia, Econ.Geol, V. 91, P. 402-438.
- Barton, M. D. & Johnson, D. A., 2000- Alternative brine sources for Fe-oxide(-Cu-Au) systems: Implications for hydrothermal alteration and metals: in Porter, T.M., Hydrothermal iron oxide copper-gold and related deposits a global perspective, Australian Mineral Foundation, Glenside, South Australia, p. 43-60.
- Dilles, J. H. & Einaudi, M. T., 1992 - Wall – rock alteration and hydrothermal flow paths about the Ann-Mason porphyry copper deposit, Nevada. Econ. Geol, V. 87, P. 1963-2001.
- Einaudi, M. T., Meinert, L. D. & Newberry, R. J., 1981- Skarn deposits: Econ. Geol. 15th Anniversary volume, P. 317-391.
- Einaudi M.T. & Burt D.m., 1982- A special issue devoted to skarn deposits, Introduction –Terminology, classification and composition of skarn deposits, Eco.Geo.74.No. 4.
- Forst, B. F., 1991- Introduction to oxygen fugacity and its petrologic importance. In Oxide Minerals: petrologic and Magnetic Significance. Reviews Mineral. 25, 1-10. [1] Pearce, J. A., Harris, N. B. W & Tindle, A. G. 1984, Trace – element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks, J. petrology. 25, 956-983.
- Meinert, L. D., 1992- Skarn and Skarn deposits. Geosci. Can. 19, 145-162. [17]
- Meinert, L. D., 1995- Igneous petrogenesis and skarn deposits, Geol. Assoc. Can. Spacial paper 40, 569-583.
- Meinert, L.D., 1995- Compositional variation of igneous rocks associated with skarn deposits – chemical evidence for a genetic connection between petrogenesis and mineralization In: Thompson, J. F. H.(Ed), Mineral. Assoc. Can. Short Course Series, Vol. 23. Mineralogical Associations of Canada, Nepean, Ontario, PP: 401-418.
- Newberry, R. J. & Swanson, S. E., 1986- Scheelite skarn granitoids: an evaluation of the roles of magmatic source and process. Ore. Geol.Reviews. 1, 57-81.
- Newberry, R. J., 1987- Use of intrusive and calcsilicate compositional data to distinguish contrasting skarn types in the Durwin polymetallic skarn district, California, USA. Mineral Deposita. 22, 202-215.
- Pearce, J. A., Harris, N. B. W. & Tindle, A. G., 1984- Trace – element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks, J. petrology. 25, 956-983.
- Ray, G. E., Webster, I.C. L. & Ettliger, A. D., 1995- The distribution of skarns in British Columbia and the chemistry and ages of their related plutonic rocks. Econ. Geol. 90(accepted).
- Smirnov, V. I., 1976- Geology of Mineral Deposits, Mir Publisher, Moscow.
- Vaughan, D. J. & Craig, J. R., 1981- Ore Microscopy, John Wiley.

*گروه زمین شناسی دانشکده علوم دانشگاه تهران

*Geological Department, Faculty of Sciences, University of Tehran, Tehran, Iran