

# مطالعات ژئوشیمیایی و فلززایی توده گرانیتویدی سرخ کوه (مجموعه آتشفشانی - نفوذی خاور ایران) و ارتباط آن با کانی‌سازی مس - طلا - آهن

بهزاد مهرابی<sup>۱</sup>، ابراهیم طالع فاضل<sup>۲\*</sup> و مجید قاسمی سیانی<sup>۲</sup>

۱. دانشیار گروه زمین‌شناسی، دانشگاه خوارزمی، تهران

۲. دانشجوی دکتری زمین‌شناسی اقتصادی، دانشگاه خوارزمی، تهران

تاریخ دریافت: ۸۹/۹/۱۷

تاریخ پذیرش: ۹۰/۵/۱۷

## چکیده

توده گرانیتویدی سرخ کوه، به عنوان قدیمی‌ترین فعالیت زمین‌ساختی - ماگمایی مجموعه آتشفشانی - نفوذی خاور ایران در شمال فروافتادگی دشت لوت، قرار دارد. این توده متشکل از کانی‌های آل بیت، کوارتز، بیوتیت، هورنبلند، فلدسپارتاسیم و آپاتیت با بافت نیمه‌خوشکل دانه‌ای، ترکیب گرانودیوریت، دیوریت و تونالیت با ماهیت مت‌آلومین تا پ‌آلومین و کلسیمی - قلیایی دارای تشابه ترکیبی با گرانیت‌های ایلمنیتی سری کاهیده نوع S است. کانه‌زایی چندفلزی سولفیدی - اکسیدی در منطقه با تشکیل کانه‌های هیپوژن کالکوپیریت، بورنیت، پیریت، اسفالریت، مگنتیت، هماتیت، و کانه‌های سوپرژن دیژنیت، کولیت، کالکوسیت، مالاکیت و نئوتوسیت به همراه کانی‌های کالک‌سیلیکات و سیلیکات بدون آب (ولاستونیت، آنکریت، گارنت آهن‌دار و پیروکسن) و آبدار (ترمولیت - اکتینولیت، کلریت و اپیدوت) با ساخت و بافت انتشاری، رگه‌ای - رگچه‌ای و در مواردی جان‌شینی و اسکارنی به صورت عدسی و نوارهای گوسانی متعدد انجام گرفته است. ماده معدنی به صورت نامنظم و پراکنده با شکل‌های عدسی، صفحه‌ای و رگه‌ای با پیروی از ساختارهای زمین‌ساختی منطقه به صورت دیرزاد تشکیل شده است. دگرسانی‌های آرژیلیک، سریسیتی و لیمونیتی در مجاورت توده نفوذی و پهنه اسکارن و دگرسانی پروپیلیتی با مجموعه کانی‌های اپیدوت، کلریت و پیریت با فاصله از توده نفوذی قابل تشخیص است. خصوصیات ژئوشیمیایی توده نفوذی سرخ کوه همخوانی مناسبی با پلوتون‌های مولد مس - آهن و طلا نشان می‌دهد که در آنها توده نفوذی نقش مهمی در خاستگاه تأمین فلزها دارد.

**واژه‌های کلیدی:** ژئوشیمی، گرانیت کاهیده (احیایی)، کانی‌سازی چندفلزی، سرخ کوه، مجموعه ماگمایی خاور ایران

## مقدمه

جیوه و طلا از نوع رگه‌ای، پورفیری و اسکارن (همبری) است. تاکنون مطالعات متعددی توسط Lotfi (1982), Jung et al. (1983) (1983), Tarkian et al., بورنا (۱۳۶۴)، لطفی (۱۳۷۴)، ضیایی و عابدی (۱۳۸۲)، رحیمی (۱۳۸۳)، Karimpour et al., (2005)، ملک‌زاده و همکاران (۱۳۸۸) و مهرابی و طالع‌فاضل (۱۳۹۰)

مجموعه آتشفشانی - نفوذی خاور ایران<sup>۲</sup> واقع در شمال فروافتادگی دشت لوت، محدود به گسل‌های شمالی - جنوبی نایبندان در باختر و نهبندان در خاور، میزبان ذخایر و آثار فراوانی از کانی‌سازی‌های متنوع چندفلزی مس، سرب، روی، آنتیموان،

\* نویسنده مرتبط Fazel\_tale@yahoo.com

1- Epigenetic

2- Iranian East Magmatic Assemblage

زمین‌شناسی، ۱۳۸۳) واقع شده است. فعالیت‌های معدنکاری قدیمی در منطقه، توسط آثار شدادی و حفر چاهک‌های متعدد به‌ویژه در بخش کلاهک‌های آهنی منطقه مشخص می‌شود. نخستین فعالیت‌های اکتشافی در منطقه، با هدف پیجویی نفت در سال ۱۳۴۸ توسط شرکت ملی نفت ایران در قالب اکتشافات مقدماتی در برکه ۱:۱۰۰۰۰۰ جنوب سه‌چنگی و بلوک لوت انجام شده است. همچنین مطالعات ژئوشیمیایی با هدف آثاریابی مناطق نویدبخش و کانی‌سازی طی سال‌های ۱۳۸۲ تا ۱۳۸۵ توسط سازمان زمین‌شناسی کشور و سازمان صنایع و معادن استان خراسان جنوبی انجام شد، که نتایج این گزارش‌ها تاکنون منتشر نشده است. در سال‌های اخیر، شرکت معدنی ایتوک ایران اقدام به انجام بررسی‌های اکتشافات عمومی شامل حفر ترانشه، تونل، تهیه نقشه ژئوشیمیایی و برداشت‌های ژئوفیزیکی در مقیاس ۱:۵۰۰۰ کرده است (ایتوک ایران، ۱۳۸۶)، که این فعالیت‌ها در حال ادامه است.

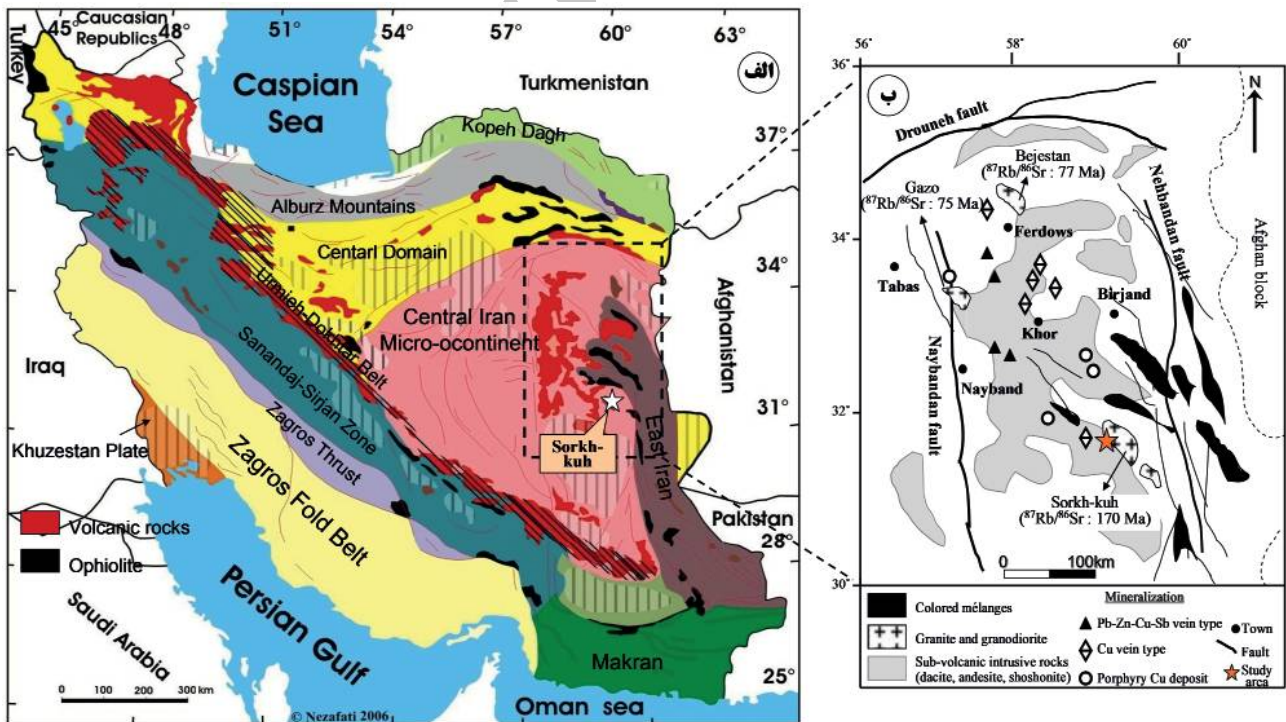
تعیین خصوصیات ژئوشیمیایی، فلززایی و ماهیت مجموعه گرانیتیویدی سرخ‌کوه مرتبط با کانه‌زایی چندفلزی مس - آهن ± طلا، در کنار مجموعه شواهد سنگ‌شناسی، کانی‌شناسی و دگرسانی، از اهداف این تحقیق است که علاوه بر جنبه علمی و پژوهشی، در راستای پیشبرد عملیات پیجویی در منطقه می‌تواند اثربخش باشد.

### روش مطالعه

پس از جمع‌آوری اطلاعات قبلی، شامل تهیه نقشه‌های

در منطقه انجام شده است. بر اساس بررسی‌های انجام‌شده، وجود مجموعه‌ای از کانی‌سازی‌های مس پورفیری مانند ماهرآباد (ملک‌زاده و همکاران، ۱۳۸۸) و گزو (Tarkian et al., 1983)، گرانودیوریت و گرانیتویدهای برخورداری نوع ایلمنیتی شاه‌کوه (اسماعیلی، ۱۳۸۰) و بجستان (قورچی‌رودکی و همکاران، ۱۳۸۸)، گرانیتویدهای کاهنده (احیایی) نیمه‌عمیق منطقه طلادار هیرد (اشراقی و همکاران، ۱۳۸۷) و مجموعه گرانیتیویدی اکسیدی - کاهیده سرخ‌کوه (طالع‌فاضل و همکاران، ۱۳۸۸) با سن‌های متفاوت، حاکی از وجود زون‌فرورانش و مرحله برخورد با بلوک لوت است (افتخارنژاد، ۱۳۵۲؛ امامی، ۱۳۷۹؛ Tirrul et al, 1983؛ Berberian et al., 1999) (شکل ۱). محدوده خاور ایران و بلوک لوت به دلیل رخداد فرورانش و تشکیل حجم عظیمی از سنگ‌های آتشفشانی - نفوذی حدواسط تا اسیدی، زمینه‌ساز مناسبی برای کانی‌سازی‌های مختلف به ویژه مس پورفیری (ماهرآباد ۲، بجستان، رحیمی و چاه‌شلغمی) کانسارهای چندفلزی اپی‌ترمال نوع رگه‌ای (محدوده گله‌چاه - شوراب، سه‌چنگی، چاه‌نقره و حوض راسی) و ذخایر همبری - متاسوماتیسم اسکارن (سنگان و سرخ‌کوه) است (شکل ۱).

منطقه پیجویی سرخ‌کوه واقع در شمال فروافتادگی دشت لوت، در مختصات جغرافیایی ۲۳° ۵۸' طول خاوری و ۱۸° ۳۲' عرض شمالی در فاصله ۷۰ کیلومتری جنوب باختری شهرستان خوسف، از توابع استان خراسان جنوبی، قرار گرفته است (شکل ۱). محدوده مورد مطالعه در نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ ناینندان (سازمان زمین‌شناسی، ۱۳۶۰) و ۱:۱۰۰۰۰۰ جنوب سه‌چنگی (سازمان



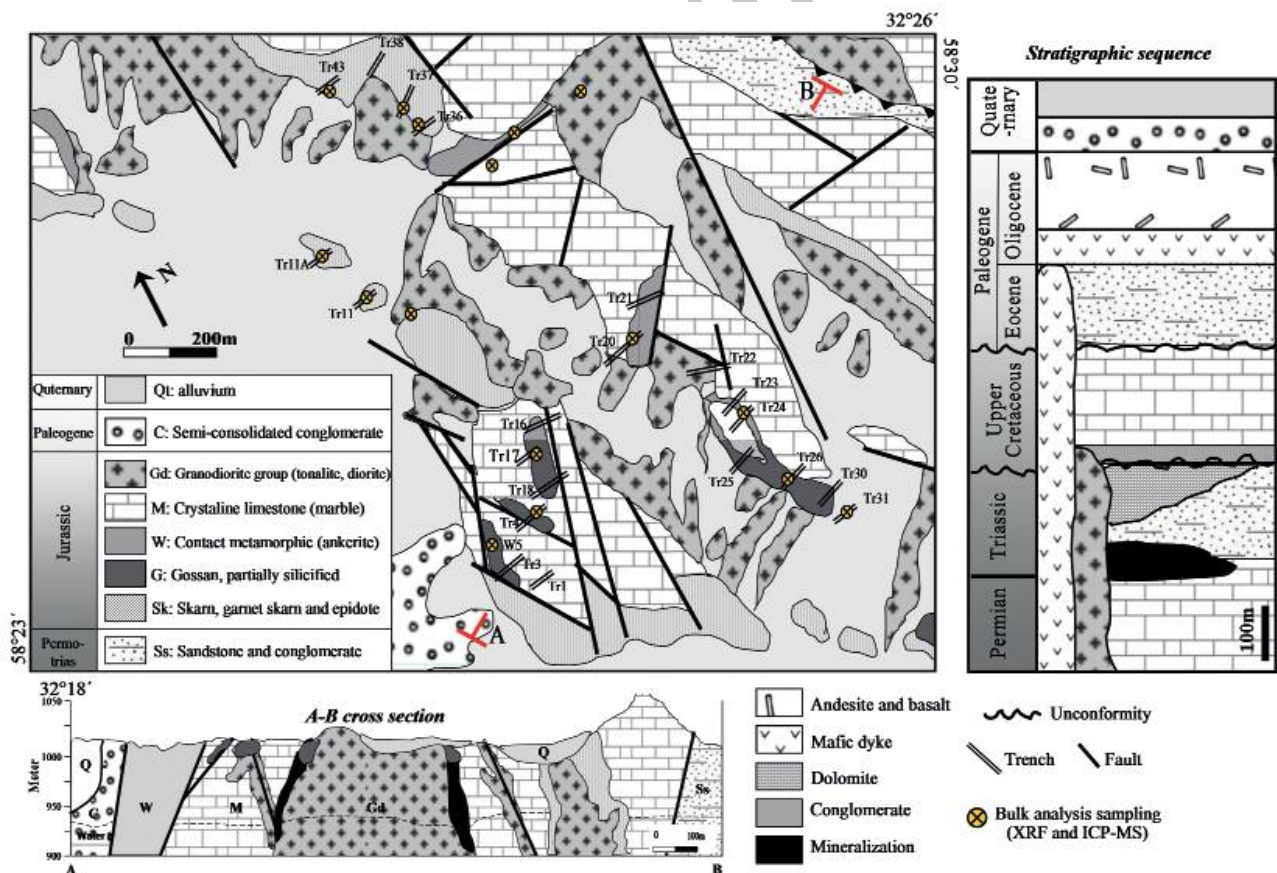
شکل ۱. الف) موقعیت منطقه معدنی سرخ‌کوه در مجموعه ماگمایی خاور ایران، واقع در نقشه ساختاری ایران (با تغییرات از Alavi, 1994) و ب) پراکندگی کانسارها و نشانه‌های معدنی چندفلزی رگه‌ای و پورفیری در کمربند آتشفشانی - نفوذی ناحیه مرکزی لوت (با تغییرات از Jung et al., 1983)

### زمین‌شناسی

گستره ورقه زمین‌شناسی جنوب سه‌چنگی در برگزیده رخنمون‌های سنگی وسیعی از پرمین تا کواترنری است که در این توالی، نبوده‌های چین‌نگاری بزرگی نیز وجود دارد (اشتوکلین و همکاران، ۱۳۵۲). قدیمی‌ترین سنگ‌های رخنمون‌یافته شامل سنگ‌آهک خاکستری تیره بایومیکرواسپاریت، متشکل از سه بخش به ترتیب از قدیم به جدید شامل، الف) ماسه‌سنگ کرم‌رنگ، سنگ‌های کربناته و کنگلومرا با میان لایه آهک، ب) سنگ‌آهک توده‌ای قهوه‌ای با رگه‌های کلسیت و سیدریت و ج) سنگ‌آهک خاکستری مایل به سبز غنی از فسیل‌های *Paleotex-tularia sp.*, *Vermiporella sp.*, *Climacammina sp.* به سن پرمین (Azimi and Saidy, 1975) است (شکل ۲). سنگ‌های مزوزویک متعلق به سازند ناپیند و واحد کرتاسه بالایی است که در بخش شمال خاوری ورقه، رخنمون دارند و شامل سنگ‌آهک بلوری شفاف (معروف به سنگ چینی) همراه با بلورهای بسیار درشت کلسیت (بین ۲ تا ۸ سانتی‌متر)، به صورت پرکننده فضای خالی به همراه هورنفلس‌های تیره با بافت ریزدانه و میکروکریستالوبلاستیک است. واحدهای دگرگون کرتاسه در منطقه متشکل از دو بخش شامل، الف) شیست زیرین و ب) فیلیت بالایی است، که سنگ‌های متاکنگلومرا شیست، میکا

توپوگرافی (۱:۲۵۰۰۰)، زمین‌شناسی (۱:۵۰۰۰) و عکس‌های هوایی منطقه (۱:۲۰۰۰۰)، محدوده مورد مطالعه در مقیاس ۱/۵۰۰۰، به وسعت تقریبی ۱۰ کیلومترمربع مورد اکتشافات چکشی و مقدماتی قرار گرفته است.

عملیات نمونه‌برداری از بخش‌های مختلف محدوده معدنی به منظور تفکیک واحدهای سنگی کانی‌ساز و فاقد کانی‌سازی، ارتباط زایشی آتشفشانی منطقه با کانه‌زایی، تفکیک واحدهای دگرسانی موثر در کانی‌سازی و دگرسانی‌های توده‌نفوذی انجام گرفت. در مجموع، ۷۰ مقطع نازک، صیقلی و نازک‌صیقلی با همکاری شرکت معدنی ایتوک ایران برای انجام مطالعات کانی‌شناسی فلزی و نافلزی و مطالعات سنگ‌شناسی تهیه و مطالعه شدند. افزون بر این، برای تکمیل آزمایش‌ها، ۱۷ نمونه از مناطق دگرسان‌شده، توده‌نفوذی و سنگ میزبان، برای مطالعات XRD تهیه و ۳۴۰ نمونه از بخش‌های مختلف ذخیره شامل ترانسه، تونل و چاهک‌های اکتشافی به دو روش متریک پیوسته (هر متر یک نمونه) در مناطقی با تنوع کانی‌سازی، بافت و ساخت متنوع و غیرمتریک<sup>۱</sup> در مناطق یکدست و فاقد کانه‌سازی برداشت و به روش ICP-MS (شناسایی عناصر فرعی) و XRF (برای شناسایی عناصر اکسیدی اصلی) با همکاری شرکت معدنی زرآما در آزمایشگاه Amdel استرالیا تجزیه شیمیایی شدند.



شکل ۲. نقشه زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰ محدوده معدنی سرخ‌کوه (با تغییرات از ایتوک‌ایران، ۱۳۸۶) همراه با مقطع زمین‌شناسی در امتداد A-B و نمایش ستون چین‌شناسی وقایع منطقه



مطالعات (Tarkian et al., 1983). سن این توده با استفاده از روش Rb - Sr بر روی بیوتیت‌ها، در دو نمونه در گستره  $170 \pm 1/9$  میلیون سال بدست آمده، که متعلق به رخداد سیمبرین میانی (ژوراسیک) در ایران است. علاوه بر توده گرانیتی سرخ کوه سنگ‌های آذرین مختلفی مانند تونالیت، دیوریت و دایک‌های بازالتی فراوان با روند NE - SW و E - W، به‌ویژه در جنوب خاور منطقه به چشم می‌خورد که غالباً متعلق به ژوراسیک پایانی - کرتاسه هستند.

### تعیین سری ماگمایی، موقعیت زمین‌ساختی و ماهیت توده گرانیتیوییدی سرخ کوه

بمنظور تعیین و تشخیص سری‌های ماگمایی در منطقه، از نتایج تجزیه شیمیایی سنگ‌های آذرین به روش‌های ICP-MS و XRF بهره گرفته شده است (جدول ۱). سری قلیایی از نیمه‌قلیایی، توسط نمودار  $Na_2O+K_2O$  در برابر  $SiO_2$  (Irvine and Baragar, 1971) قابل تفکیک است، که بر اساس این نمودار سنگ‌ها در محدوده نیمه‌قلیایی قرار می‌گیرند (شکل ۳). همچنین بر اساس نمودار  $K_2O/SiO_2$  توسط (Peccerillo and Taylor, 1976) سنگ‌ها متعلق به سری کلسیمی - قلیایی تا کلسیمی - قلیایی غنی از پتاسیم بوده که بر اساس (Gill, 2010) این سری‌های کلسیمی - قلیایی متعلق به مناطق فرورانش هستند (شکل ۳). موقعیت توده گرانیتیوییدی سرخ کوه در نمودار Pearce et al., (1973)، با استفاده از عناصر Rb, Y, Nb، نشان از ارتباط این توده با کمربندهای مناطق فرورانش دارد (شکل ۵). مطالعات انجام شده بر روی گرانیت سرخ کوه در ارتباط با ماهیت ژئوشیمیایی آن، شواهدی از هر دو نوع گرانیت S و I را ارائه می‌کند (سامانی، ۱۳۸۸؛ طالع‌فاضل و همکاران، ۱۳۸۸) که شواهد بدست آمده در این پژوهش نیز تأییدی بر وجود هر دو نوع گرانیت S و I در منطقه است. مقادیر پایین  $Na_2O$  (میانگین  $> 3,2$  درصد)، شاخص مولار  $Al_2O_3/(Na_2O+K_2O+CaO) \geq 1.0$  و ماهیت نزدیک به پرآلمین، نشان از شباهت ترکیبی این گرانیت با گرانیت‌های ایلمنیتی سری کاهیده نوع S است (جدول ۱ و شکل ۳). همچنین نسبت پایین  $^{87}Sr/^{86}Sr < 0.707$ ، حضور هورنبلند فراوان، عدم تشکیل کانی‌های دگرگونی و وجود دایک‌های بازالتی متعدد، مبین شواهدی از هر دو نوع گرانیت S و I در منطقه است.

افزون بر این، نمودار عنکبوتی گرانیتیوییدی سرخ کوه نسبت به ترکیب بازالت‌های مناطق بازشونده میان اقیانوسی عادی<sup>۱</sup> و پوسته قاره‌ای<sup>۲</sup> بر اساس (Pearce and Cann, 1973) بدست آمده، که بر این اساس مقادیر Sc، Ti و Nb دارای بی‌هنجاری منفی و عناصر Ba، Sr، Th و Ce غنی‌شدگی نشان می‌دهند (شکل ۵). این خصوصیات متعلق به ماگماهای کلسیمی - قلیایی محیط‌های زمین‌ساختی فرورانش حاشیه قاره است (Mpodozis and Ra- (mos, 2002).

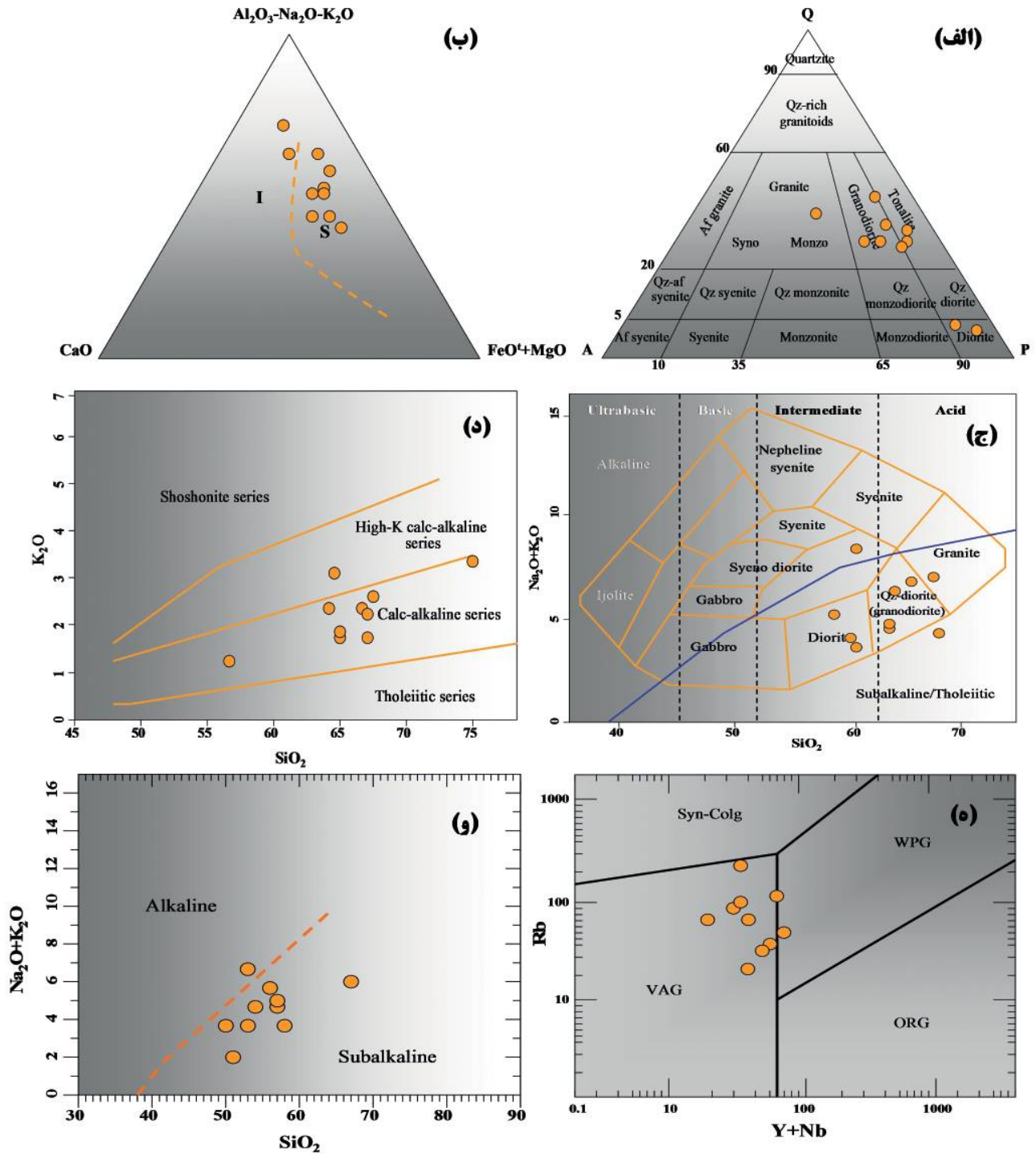
شیست، کردیریت و آندالوزیت - استارولیت شیست با بافت فنوبلاستی متعلق به بخش زیرین و سنگ‌های دگرگونه ضعیف فیلیت همراه با مقادیری رادیولاریت سرخ رنگ، ماسه‌سنگ و سیلت‌سنگ و واحدهای آتشفشانی دگرگون‌شده، متعلق به بخش بالایی است. در آغاز سنوزوییک، رسوب‌گذاری آواری و کربناته همراه با فعالیت‌های آذرآواری در منطقه گسترش یافته، به گونه‌ای که در ائوسن، نخستین فعالیت‌های آتشفشانی ناحیه متشکل از سنگ‌های نیمه‌نفوذی هورنبلند آندزیت‌پورفیری، توف، توف بلورین خرده‌سنگی و به مقدار کمتر تراکی آندزیت در جنوب خاوری ورقه رخ داده است (Tarkian et al., 1983). چرخه دوم فعالیت‌های ماگمایی که قاعده سنگ‌های آتشفشانی ائوسن - الیگوسن منطقه را می‌سازد، به طور عمده از لاتیت آندزیت، کوارتز لاتیت و سنگ‌های آذرآواری توف بلورین خرده‌سنگی با ترکیب ریوداسیتی تشکیل شده که فراوان‌ترین آنها در منطقه سرخ کوه واحد لاتیت آندزیت است که در نمونه دستی به رنگ خاکستری روشن تا تیره شامل پلاژیوکلاز (اولیگوکلاز)، فلدسپار پتاسیم، بیوتیت و کلینوپیروکسن (اوزیت) با بافت پورفیری و درشت بلورهای کمتر از ۴ میلی‌متر است. جوان‌ترین واحد آتشفشانی منطقه به سن الیگوسن، متشکل از سنگ‌های قهوه‌ای تا سیاه آندزی بازالت و بازالت با بافت پورفیری است که دارای درشت‌بلورهای کلینوپیروکسن (اوزیت) و پلاژیوکلاز (لابرادور) با اندازه زیر ۳ میلی‌متر و زمینه میکروولیتی - اینترسترال است.

### ویژگی‌های توده‌نفوذی سرخ کوه

توده نفوذی سرخ کوه در لوت مرکزی، نشانگر کهن‌ترین فعالیت ماگمایی منطقه است (Tarkian et al., 1983). توده گرانیتیوییدی سرخ کوه در گستره‌ای به طول ۲ کیلومتر در همبری با سنگ‌آهک پرمین، موجب تشکیل هاله همبری با جنس مرمر، آنکریت و اسکارن شده است. در نمودار (LeMaitre, 1989) این توده در محدوده سنگ‌های گرانیت، کوارتز دیوریت، تونالیت و گرانودیوریت قرار می‌گیرد (شکل ۳ الف). همچنین با استفاده از نمودار Cox et al., (1979)، سنگ‌ها در محدوده گرانیت، گرانودیوریت و دیوریت با ماهیت حدواسط تا اسیدی واقع می‌شوند (شکل ۳ ج). ترکیب کانی‌شناسی توده، متشکل از پلاژیوکلاز (آلیت)، کوارتز، بیوتیت و هورنبلند به عنوان کانی‌های اصلی و فلدسپار پتاسیم (ارتوکلاز و میکروکلین)، آپاتیت، و کانه‌های اوپاک به عنوان کانی‌های فرعی با بافت نیمه‌خودشکل دانه‌ای است (شکل ۴ الف). واکنش سیالات گرمایی موجب دگرسانی ارتوکلاز به کائولینیت، آلیت به سریسیت و تبدیل آمفیبول به بیوتیت، کلریت و مگنتیت شده است که در اغلب بخش‌های منطقه و توده نفوذی قابل تشخیص است (شکل ۴ ج). دگرسانی‌های آرژیلیک (کائولینیت)، سریسیتی، بیوتیتی و پروپیلیتی (حضور اپیدوت، کلسیت و آنکریت) مهم‌ترین دگرسانی‌های مرتبط با توده نفوذی هستند که توسط رگه و رگچه‌های تورمالین قطع شده‌اند (شکل ۴ د). بر اساس

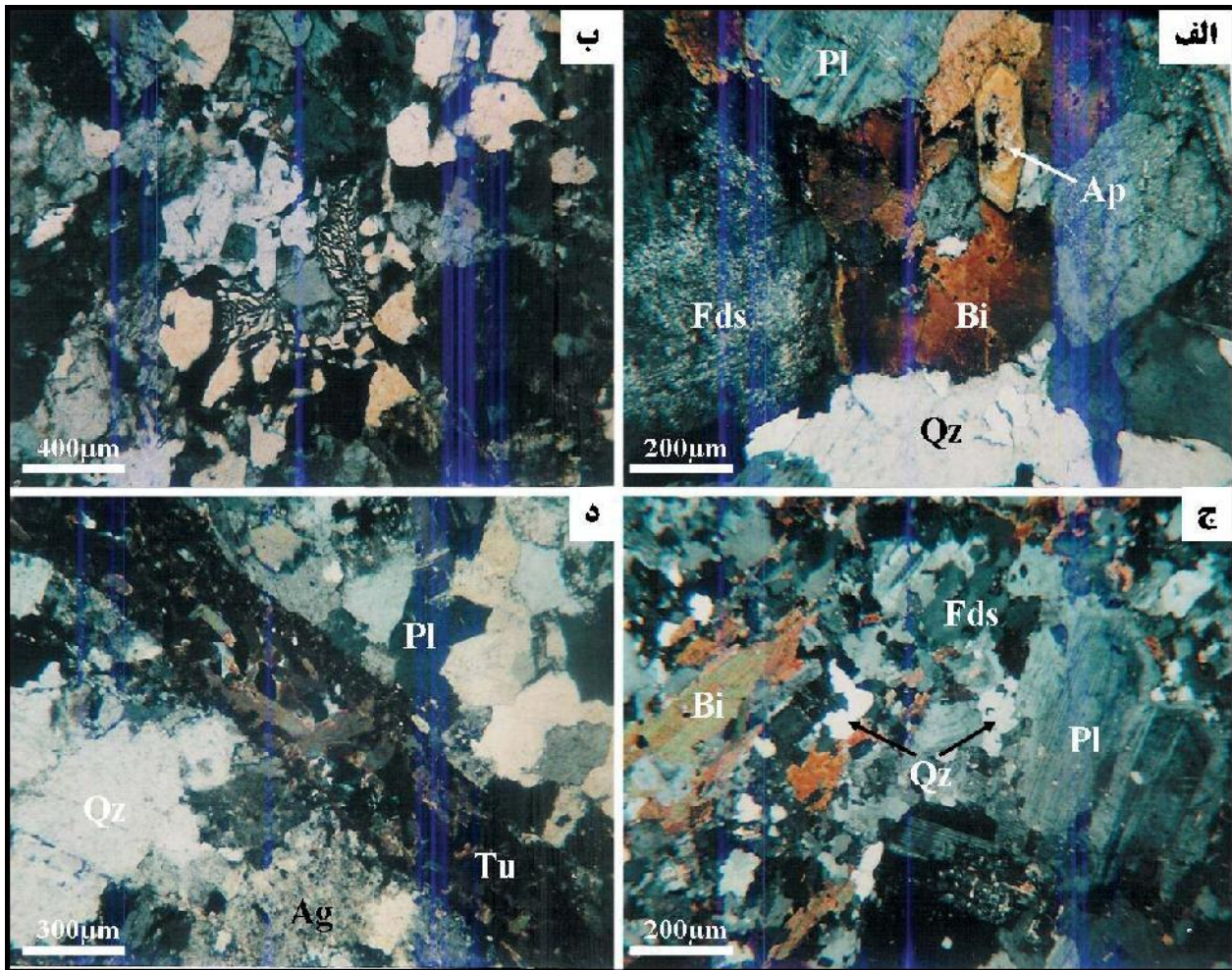
1- N-MORB

2- Continental Crust



شکل ۳. نمودار سنگ‌شناسی سنگ‌های آذرین منطقه سرخ‌کوه شامل، الف) موقعیت نمونه‌ها در محدوده سنگ‌های گرانیت، دیوریت، تونالیت و گرانودیوریت (LeMaitre, 1989)، ب) تفکیک گرانیت‌های نوع I و S و موقعیت نمونه‌های گرانیت سرخ‌کوه در حوضه گرانیت کاهیده نوع S (Chappell and White, 1974)، ج) ماهیت حدواسط تا اسیدی سنگ‌ها (Cox et al., 1979)، د) موقعیت سنگ‌ها متعلق به سری کلسیمی - قلیایی تا کلسیمی - قلیایی غنی از پتاسیم (Peccerillo and Taylor, 1976)، ه) ارتباط سنگ‌های منطقه با کمرندهای زون فرورانش و همزمان با برخورد (Pearce et al., 1973)، و) تفکیک سری قلیایی از نیمه‌قلیایی در نمودار (Irvine and Baragar (1971) و موقعیت سنگ‌ها در محدوده نیمه‌قلیایی





شکل ۴. تصاویر میکروسکوپی سنگ‌نگاری از بخش‌های مختلف گرانیت سرخ‌کوه شامل، الف) بافت دانه‌ای در بیوتیت گرانیت، متشکل از درشت بلورهای نیمه‌شکل‌دار پلاژیوکلاز (Pl)، فلدسپات‌قلیایی (Fds) پرتیتی با دگرسانی کائولینیتی و بلورهای بی‌شکل کوارتز با بافت بین دانه‌ای (Interstitial) همراه با آپاتیت (Ap) و بیوتیت (Bi)، ب) میکروگرانیت با بافت هم‌رشدی گرانوفیری کوارتز و فلدسپات‌قلیایی در دمای یوتکتیک، ج) بافت پورفیری در بیوتیت گرانیت شامل، درشت بلورهای نیمه‌شکل‌دار پلاژیوکلاز (Pl) دارای منطقه‌بندی به همراه فلدسپات‌قلیایی (Fds)، کوارتز (Qz) و بیوتیت‌های کلریتی شده در حاشیه و د) بافت دانه‌ای در لوکوگرانیت متشکل از درشت بلورهای نیمه‌شکل‌دار تا بی‌شکل پلاژیوکلاز (Pl)، کوارتز (Qz)، موسکوویت و رگچه متقاطع تورمالین (Tu) همراه با دگرسانی آرژلیک (Ag)

### کانه‌زایی

متعدد، با ابعاد چند سانتی‌متر تا ۱۲۰ متر تشکیل شده است که در آن توده معدنی به صورت نامنظم و پراکنده با پیروی از ساختارهای زمین‌ساختی و گسل‌ها به صورت صفحه‌ای، عدسی، لایه‌ای و در مواردی رگه و رگچه‌ای در امتداد این ساختارها مشاهده می‌شود. در مرز گرانیت سرخ‌کوه با سنگ‌های آهکی متبلور پرمین، دگرگونی همبری از نوع اسکارن رخ داده است (شکل ۶) که به دو صورت درون و برون‌اسکارن بخش مهمی از کانه‌زایی مس - آهن به‌ویژه در بخش برون‌اسکارن صورت گرفته که تفکیک آنها به دلیل پیچیده بودن فعالیت‌های زمین‌ساختی - ماگمایی و رانندگی‌های گسترده در منطقه به سادگی امکان‌پذیر نیست. تأثیرات دمایی و متاسوماتیک حاصل از نفوذ گرانیت سرخ‌کوه و به دنبال آن، ورود سیالات گرمایی در سنگ‌های کربناتی میزبان، سبب تبلور دوباره این سنگ‌ها و تشکیل کانی‌های شاخص اسکارن و کانسار آهن با غنای بیشتر به صورت دیرزاد شده است.

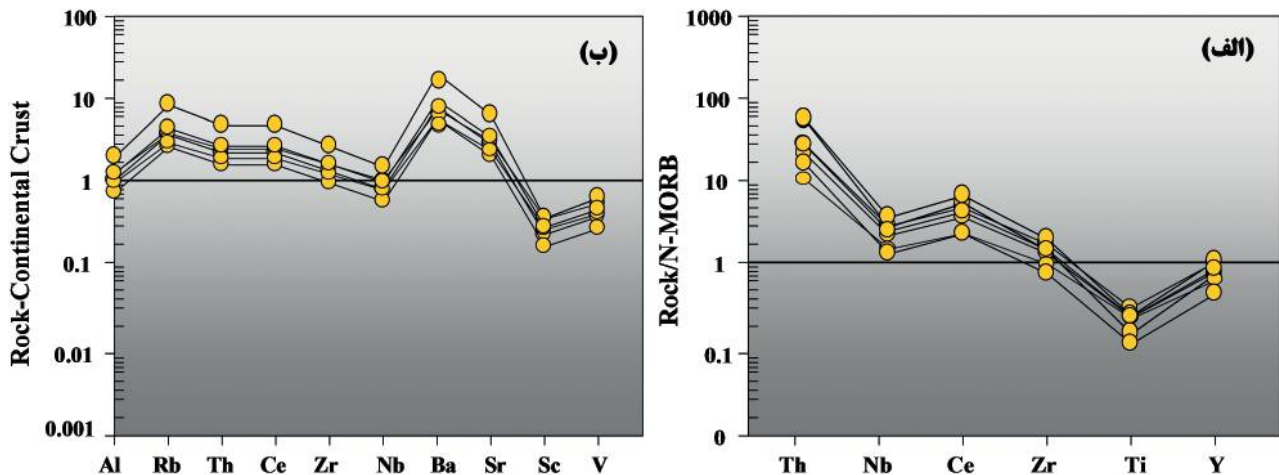
فعالیت‌های شدادی قدیمی در منطقه به صورت حفره‌های مخروطی‌شکل به قطر ۳۰ متر و عمق ۱۰ متر در محدوده حاوی کانی‌سازی سطحی به صورت کلاهک‌های آهنی و بخش‌های آبشویی‌شده سرخ‌رنگ، به منظور پیجویی عناصر آهن (و منگنز) و ترانشه‌ای به طول ۲۵۰ متر و عرض ۲ متر با راستای تقریبی شمالی - جنوبی، به طور عمده بر روی رگه‌های کانهدار به منظور استحصال مس (و قلع) انجام شده است (ایتوک ایران، ۱۳۸۶). مطالعات صحرایی و بررسی نمونه‌های برداشت‌شده از محل ترانشه، چاهک و تونل‌ها، منجر به شناسایی کانه‌زایی چندفازی سولفیدی و اکسی - هیدروکسیدی درون‌زاد و برون‌زاد مس، آهن، منگنز و به‌ندرت سرب و روی، قلع و تنگستن با ساخت و بافت انتشاری، رگه‌ای - رگچه‌ای و در مواردی جاننشینی و اسکارنی شده است. کانه‌زایی در منطقه به صورت لنز و نوارهای گوسنی

جدول ۱. نتایج تجزیه دستگاهی XRF عناصر اکسیدی (Wt.%) و ICP - MS عناصر فرعی (ppm)

Sample No.	SK - 01	SK - 02	SK - 03*	SK - 04*	SK - 05	SK - 06	SK - 07*	SK - 08	SK - 09*	SK - 10
Wt.%										
SiO <sub>2</sub>	74.75	58.30	69.43	66.78	63.65	61.81	64.14	54.70	66.70	65.90
TiO <sub>2</sub>	0.77	1.08	0.83	0.62	0.95	1.09	0.88	1.37	0.60	0.71
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12.53	18.27	13.44	15.00	16.46	18.86	16.13	22.32	13.5	12.5
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.10	2.10	0.49	0.76	1.07	0.89	0.70	0.14	1.60	0.60
FeO	3.37	6.91	4.66	3.77	5.68	5.06	6.07	5.24	3.50	4.40
MnO	0.09	0.15	0.04	0.08	0.16	0.07	0.09	0.05	0.10	0.70
MgO	1.13	3.03	1.67	2.26	2.87	1.66	3.26	2.28	2.10	3.10
CaO	0.34	2.42	0.70	2.79	1.72	0.61	1.34	0.89	2.50	2.21
Na <sub>2</sub> O	1.41	2.17	3.86	3.56	2.10	1.96	2.22	2.99	2.90	3.72
K <sub>2</sub> O	3.22	3.92	3.02	2.62	3.52	5.02	3.20	8.35	2.00	2.03
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.12	0.10	0.09	0.15	0.15	0.07	0.16	0.17	0.20	0.37
L.O.I.	1.61	1.45	1.39	1.09	2.08	2.66	1.66	1.82	4.20	3.83
Total	100.43	99.89	99.64	99.44	100.43	99.75	99.92	100.29	100.10	99.67
ppm										
Ni	32	49	20	25	21	38	29	34	31	51
Cr	64	98	30	115	136	90	145	114	78	29
Sc	11	23	45	31	56	23	31	44	38	88
Ba	498	708	527	647	633	698	738	508	640	500
Rb	148	186	132	98	158	209	138	336	276	306
Sr	145	149	104	107	168	134	145	124	147	182
Zr	409	174	333	160	177	284	149	259	213	103
Y	37	67	83	92	67	54	79	90	89	79
Nb	14	18	34	26	39	48	59	35	12	8
Ga	15	23	32	47	19	33	21	28	17	20
Co	12	14	11	9	4	12	23	12	10	30
Cs	15.1	10.4	7.8	3.5	6.6	18.5	7.1	7.3	5.1	3.0
Hf	1.8	5.2	3.7	2.9	1.7	7.9	2.9	3.9	1.2	7.2
Ta	0.3	0.1	0.2	0.5	0.1	0.1	0.1	0.2	0.3	0.3
Th	9.4	11.3	2.3	3.7	1.2	1.0	3.9	4.8	8.5	2.5
U	1.2	3.2	2.8	1.0	<1.0	2.7	3.9	2.2	1.0	1.0
Zn	73	124	65	32	123	23	67	90	34	38
V	67	112	45	123	231	98	59	87	122	102
La	16	12	10	11	18	13	9	7	10	9
Pr	8.1	9.3	9.2	7.6	5.8	8.9	7.7	12.5	11.0	10.3
Nd	32	37	36	29	18	43	30	28	12	8
Sm	5.6	6.8	3.8	5.5	4.8	2.4	4.3	6.6	7.2	6.2
Cu	6	24	12	13	10	8	34	46	21	19
Eu	1.50	1.65	1.10	0.90	2.30	1.86	2.22	0.89	0.56	0.96
Gd	4.23	5.23	5.57	3.23	3.45	4.40	5.56	5.78	3.32	3.92
Tb	1.1	0.8	1.2	0.9	0.8	0.6	1.3	2.1	0.23	1.23
Dy	5.23	4.32	2.23	1.76	2.34	5.56	6.78	6.62	3.32	3.02
Ho	0.78	0.65	0.66	0.34	0.31	1.23	1.11	0.43	1.34	2.30
Er	2.21	3.10	2.00	1.12	0.98	0.87	1.12	2.12	2.78	3.70
Tm	0.65	0.32	0.43	0.21	0.98	0.65	0.98	1.45	1.10	1.12
Yb	2.23	3.34	4.47	3.20	2.31	3.30	2.10	1.13	1.03	2.30
Lu	0.23	0.45	0.78	0.49	0.67	0.89	1.23	0.24	0.60	0.00

\* نمونه‌های کنترل شده به روش تجزیه دستگاهی AAS





شکل ۵. نمودار عنکبوتی گرانیتوئید سرخ کوه، بهنجار شده نسبت به، الف) ترکیب بازالت‌های مناطق بازشونده میان اقیانوسی و ب) پوسته قاره‌ای (Pearce and Can, 1973)

۲۰ متر متشکل از سیدریت، آراگونیت، کلسیت و دولومیت در بخش‌های مختلف منطقه به چشم می‌خورد که زون اسکارنی و توده گرانیتوئیدی سرخ کوه را قطع کرده و عمدتاً ناشی از فعالیت‌های تأخیری سیالات گرمابی کربنی حاوی  $MgO$ ،  $FeO$  و  $CaO$  توده‌های نفوذی دیوریتی و تونالیتی در منطقه است. دگرسانی‌های آرژیلیک، سریسیتی، لیمونیتی با مجموعه کانی‌های کائولینیت، مونت‌موریلونیت، موسکوویت، فلدسپارپتاسیم، گوتیت و لیمونیت در همبری توده‌نفوذی و بخش اسکارنی با نسبت بالای تبادلات آب به سنگ  $(W/R)$  تا دگرسانی پروپیلیتی با مجموعه کانی‌های اپیدوت، کلریت، پیریت و کانی‌های تیره در فواصل دورتر از توده‌نفوذی، با کمترین میزان تبادلات آب به سنگ  $(W/R)$  در منطقه قابل تشخیص است. در مجموع، در کانی‌سازی اسکارن سرخ کوه می‌توان دو مرحله اصلی شامل مراحل پیشرونده<sup>۲</sup> و پسرونده<sup>۳</sup> را در نظر گرفت.

### کانی‌شناسی، دگرسانی و توالی پاراژنزی

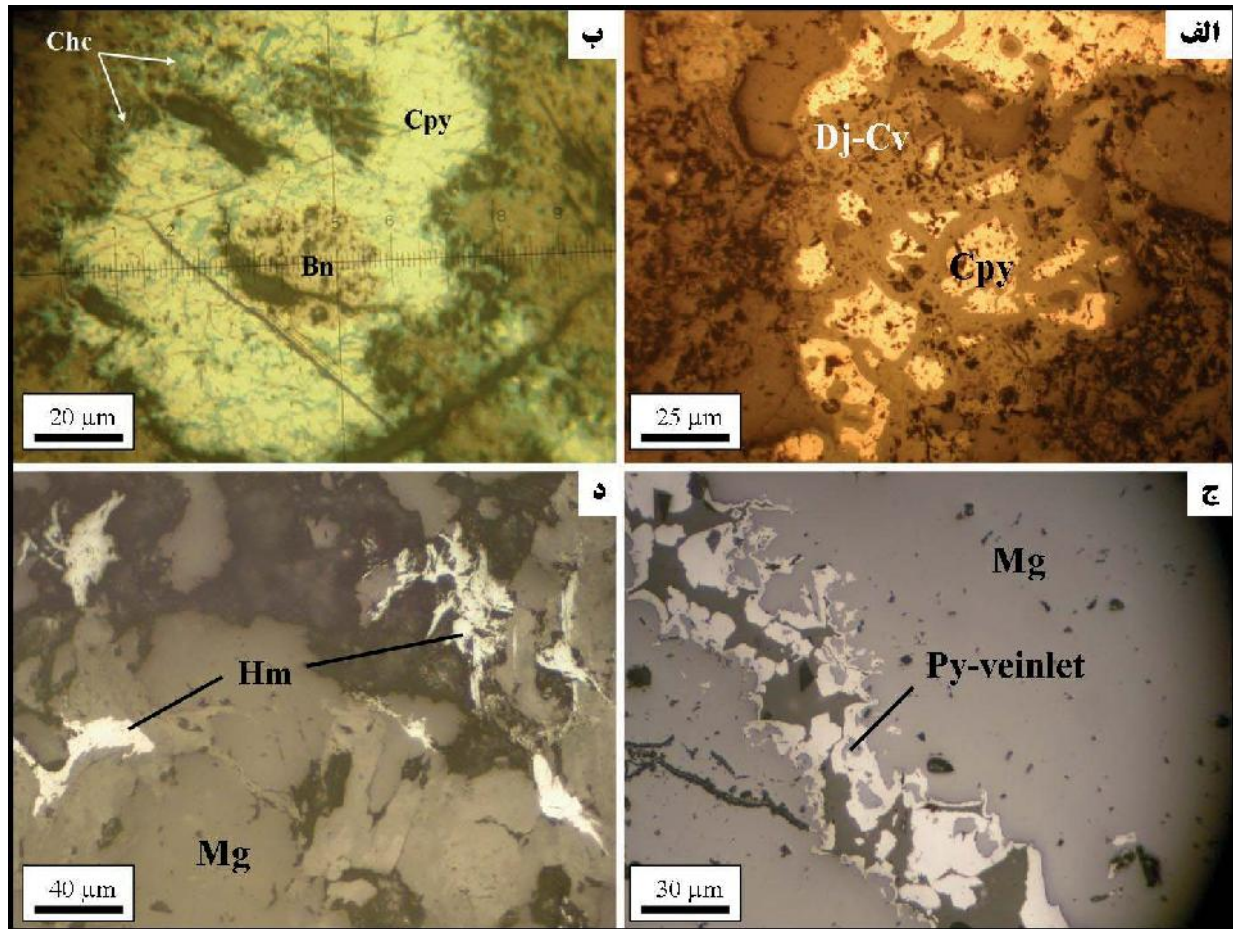
در اثر نفوذ توده گرانیتوئیدی سرخ کوه در منطقه و آزاد شدن سیالات گرمابی مس و آهن‌دار و واکنش آن با سنگ‌های میزبان در شرایط مناسب پتروفابریکی و سنگ‌شناختی، دگرسانی، جانیشینی و کانی‌سازی رخ داده است. کانه‌های سولفیدی و اکسیدی عمده در منطقه شامل کالکوپیریت، بورنیت، پیریت، اسفالریت، مگنتیت، عدسی‌های هماتیت، هماتیت سوزنی (اسپیکولاریت)، دیژنیت، کولیت، کالکوسیت، مالاکیت و نئوتوسیت به همراه کانی‌های قلیایی - سیلیکاتی و سیلیکاتی بدون آب شامل کوارتز، ولاستونیت، آنکریت، گارنت (آهن‌دار نوع آندرادیت و آلماندین) و کلینوپیروکسن است که در فواصل دورتر به مجموعه کانی‌های آبدار آمفیبول (ترمولیت - اکتینولیت)، کلریت، اپیدوت، ژاروسیت، گوتیت، لیمونیت و اکسید منگنز تبدیل می‌شوند. افزون بر این، رگه‌های متعددی با ضخامت چند سانتی‌متر تا



شکل ۶. الف) نمایی از توده گرانیتوئیدی سرخ کوه در تماس با سنگ‌آهک بلورین پرمین، ب) شکل‌گیری اسکارن کلسیمی در مجاورت آپوفیز گرانیت

- 1- Water-rock interaction
- 2- Prograde
- 3- Retrograde





شکل ۷. تصاویر کاننگاری میکروسکوپی شامل، الف) تجزیه کالکوپیریت (Cpy) به دیزنیت و کوولیت (Dj - Cv) در حاشیه، ب) بافت برون رانشی (اکسولوشن) کالکوسیت (Chc) و کالکوپیریت (Cpy) و کانی سازی بورنیت (Bn) در مرکز کالکوپیریت، ج) رگچه تأخیری شکافه پرکن پیریت (Py) در زمینه مگنتیت (Mg)، و د) تیغه های هماتیت (Hm) همراه با مگنتیت (Mg)

تبدیل به مجموعه ای از کانی های کالک سیلیکاتی آبدار و کلسیم پایین مانند اپیدوت و ترمولیت - اکتینولیت، اکسیدی (مگنتیت و هماتیت)، سولفیدی (پیریت، کالکوپیریت، بورنیت و کالکوسیت) و کربناتی (آنکریت و کلسیت) شده است (شکل ۷).

اپیدوت و مجموعه ترمولیت - اکتینولیت به ترتیب از تجزیه کانی های بدون آب گارنت و دیوپسید تشکیل شده که همراه با آن کانی های کلسیت، کوارتز و هماتیت نیز شکل گرفته است (Deer et al., 1992؛ Einaudi, 1982). در زیرمرحله پسین کانی های کالک سیلیکات آبدار و بدون آب شکل گرفته در مراحل اسکارن زایی، در نتیجه عملکرد محلول های دما پایین، دگرسان شده و کانی های ریزدانه کلریت، کلسیت، کوارتز و کانی های رسی از تجزیه اپیدوت و ترمولیت اکتینولیت تشکیل شده است. در مراحل پایانی تشکیل ذخیره رگه و رگچه های کوارتز، کلسیت، سیدریت و پیریت به صورت شکافه پرکن<sup>۱</sup> و جاننشینی<sup>۲</sup> مجموعه کانیایی پیشین را تحت تأثیر قرار داده و در نتیجه کاهش ناگهانی فشار در شکستگی ها و درزه های منطقه با روندهای مختلف تشکیل شده اند (شکل ۸).

مرحله پیشرونده خود متشکل از دو زیرمرحله، الف) مرحله فرعی اسکارنویید هورنفلس و مرمر؛ همزمان با جایگیری و تبلور توده نفوذی و دگرگونی ایزوشیمیایی سنگ های کربناتی ناخالص و تبدیل آن به مرمر و تشکیل مجموعه کانی های گارنت و پیروکسن، و ب) مرحله فرعی اسکارن متاسوماتیک؛ طی پیشرفت تبلور ماگمایی و افزایش حجم سیالات گرمابی و فازهای غنی از مواد فرار با واکنش های کربن زدایی همراه بوده که منجر به کاهش حجم و تشدید شکستگی ها و درز و شکاف ها در سنگ میزبان پس از جایگیری توده نفوذی شده است (Vallance, et al., 2009). اسکارن متاسوماتیسم در این مرحله با نهشت مجموعه کانیایی کوارتز، آندرادیت، دیوپسید و ولاستونیت در دمای بالا ( $>550^{\circ}\text{C}$ ) ناشی از نسبت بالای  $\text{SiO}_2$  به  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  ( $>3$ ) (Deer et al., 1992) انجام گرفته است. مرحله پسرونده نیز متشکل از دو زیرمرحله پیشین و پسین است که در زیرمرحله پیشین بخش اعظمی از سیلیکات های بدون آب غنی از کلسیم تشکیل شده از مراحل پیشین در نتیجه ورود سیالات گرمابی دما پایین همراه با عملکرد فرآیندهای آبکافت، کربن زدایی و سولفیدی شدن،

1- Open space-filling  
2- Replacement

Stages Minerals	Mineralization		Vein & veinlets	Supergene
	progressive	retrograde		
Clinopyroxene	●			
Wollastonite	●			
Garnet	●			
Amphibole		●		
Hematite	●	---		
Magnetite		●		
Chalcopyrite		●	---	
Bornite		●		
Pyrite	●			
Calcite		---	●	
Ankrite			●	
Siderite			●	
Chalcocite			●	
Malachite				●
Azurite-digenite				●
Chlorite				●
Epidote				●
Quartz	●			

شکل ۸. توالی پاراژنری کانسار سرخ کوه

### ژئوشیمی

در بررسی‌های ژئوشیمیایی ۳۴۰ نمونه از مناطق کانه‌ساز و سنگ میزبان برای عناصر اصلی و فرعی به روش‌های XRF و ICP\_MS مورد تجزیه قرار گرفت و برای کنترل تعدادی از عناصر در نمونه‌های منتخب به روش طیف‌سنج جذب اتمی<sup>۱</sup> تجزیه شدند (جدول‌های ۱ و ۲).

پس از بررسی دقت داده‌ها با استفاده از نمودار Thompson and Howarth (1976)، داده‌های ۷ عنصر طلا، مس، آهن، قلع، تنگستن، نقره و آرسنیک پردازش شدند. پس از تعیین نحوه توزیع عناصر (غالباً لاگ‌نرمال) با استفاده از نرم‌افزار آماری SPSS، پارامترهای آماری مانند میانگین، میانه، انحراف معیار، ضریب تغییرات، ضریب همبستگی اسپیرمن - پیرسون، بررسی‌های آماری چند متغیره شامل تحلیل عاملی و خوشه‌ای برای عناصر مورد نظر محاسبه شد. تحلیل عاملی برای بررسی تغییرات همزمان عناصر

بر مبنای روش P.C.A<sup>۲</sup> استوار است که توسط آزمون KMO و بارتلت دارای اعتبار ۰/۷۵ و مورد تأیید است (جدول ۳ الف). بر اساس نتایج بدست آمده از تحلیل عاملی، سه گروه عنصر به ترتیب شامل، مس - قلع - نقره (عامل ۱)، تنگستن - قلع (عامل ۲) و آهن - طلا - آرسنیک (عامل ۳) بدست آمد (جدول ۳ ب). برای بررسی همبستگی میان عناصر کانسارساز با یکدیگر از ماتریس همبستگی رتبه‌ای اسپیرمن - پیرسون با سطح اعتماد ۹۹ درصد و بالاتر استفاده شده است که نتایج آن در جدول ۴ و شکل ۹ آورده شده است.

افزون بر این، به منظور شناخت ارتباط زایشی متقابل نیز از روش آماری چند متغیره تحلیل خوشه‌ای استفاده شد که بر اساس این نمودار، دست‌کم سه گروه عنصر شامل، (۱) گروه مس - نقره (ضریب ۰/۷۸)، (۲) گروه طلا - قلع - آرسنیک (ضریب ۰/۶۶) و (۳) گروه تنگستن - آهن (ضریب ۰/۵۵) قابل شناسایی است.

1- Atomic Absorption Spectrometry  
2- Principal Component Analysis

جدول ۲. نتایج تجزیه دستگاهی ICP-MS، ۹ عنصر معرف کانساز در منطقه

Sample No.	Au (ppb)	Cu (%)	Fe (%)	Sn (ppm)	W (ppm)	Pb (ppm)	Ag (ppm)	As (ppm)	Zn (ppm)
Sk - tr14	45	0.03	18.55	34	13.0	14.5	1.63	1050	134
Sk - tr16	12	0.31	50.36	0	12.9	21.8	0.78	890	213
Sk - tr35	51	0.02	8.50	0	0.5	123.0	2.78	874	246
Sk - tr01	128	0.08	15.72	20	1.3	23.8	3.21	570	567
Sk - tr10	466	0.03	21.85	22	43.0	127.0	1.24	785	751
Sk - tr11	3	0.03	56.00	41	5.9	32.9	0.43	895	123
Sk - tr12	2	0.48	38.57	13	2.4	15.9	0.56	490	210
Sk - tr13	7	0.47	47.17	39	4.3	345.0	2.41	321	24
Sk - tr14	2	0	5.74	0	26.7	23.9	2.99	342	159
Sk - tr02	249	0	5.53	49	14.7	123.0	1.21	674	32
Sk - tr03	350	0.01	3.79	82	3.2	122.0	0.67	980	128
Sk - tr04	5	0	3.74	6	0.5	109.0	0.98	1045	569
Sk - tr05	173	0.06	53.12	8	24.5	119.0	1.21	1078	13
Sk - tr06	46	3.35	3.34	182	2.8	12.9	1.33	239	23
Sk - tr07	12	0.25	10.81	212	13.4	16.9	2.31	568	179
Sk - tr08	60	0.37	23.16	122	11.2	19.0	1.90	894	548
Sk - tr09	402	0.09	10.22	87	18.0	345.0	0.21	390	673
Sk - w04	315	0.24	44.26	19	23.1	328.0	0.87	239	328
Sk - w02	91	0.11	22.26	40	21.0	129.0	2.34	190	549
Sk - w23	108	0.92	51.18	7	3.4	213.0	4.32	1324	452

تجزیه‌های ژئوشیمیایی انجام شده، بر روی ۱۵ نمونه از چاه شماره ۵ (شکل ۳)، بالاترین آهنگ بی‌هنجاری مربوط به بخش دگرسان و آبشویی شده گرانیت سرخ‌کوه و کلاهدک آهنی است (شکل ۱۰). بر اساس مطالعات (Oyman و Kamvong and Zaw (2009) و Oyman و (2010)، ژئوشیمی پلوتون‌های سیلیکاتی مولد ذخایر اسکارن و پورفیری، معیار بنیادی در بازشناخت متالورژی، نوع اسکارن، فلز

اساس مطالعات (Carig (2005) و Hart and Goldfarb (2005) در سامانه‌های مرتبط با توده‌های نفوذی گرانیتوئیدی، عناصر قلع - تنگستن - مولیبدن - مس در بخش‌های نزدیک به مرکز سامانه<sup>۱</sup> و عناصر آرسنیک - طلا - آنتیموان - نقره در بخش‌های حاشیه‌ای سامانه<sup>۲</sup>، تمرکزهای بالایی را نشان می‌دهد که این پهنه‌بندی تا حدودی در منطقه سرخ‌کوه قابل مشاهده است. همچنین بر اساس

جدول ۳. نتایج تحلیل فاکتوری شامل، الف) اعتبارسنجی روش با آزمون KMO و بارتلت با میزان اعتبار ۰/۷۵ و ب) سه گروه عنصری بدست آمده از تحلیل فاکتوری عناصر کانساز در منطقه

	Components		
	1	2	3
Au	.483	.218	.357
Cu	.781	.170	.246
Fe	.240	.195	.846
Sn	.624	.371	.264
W	.058	.900	.585
Ag	.875	.201	.114
As	.496	.329	.316

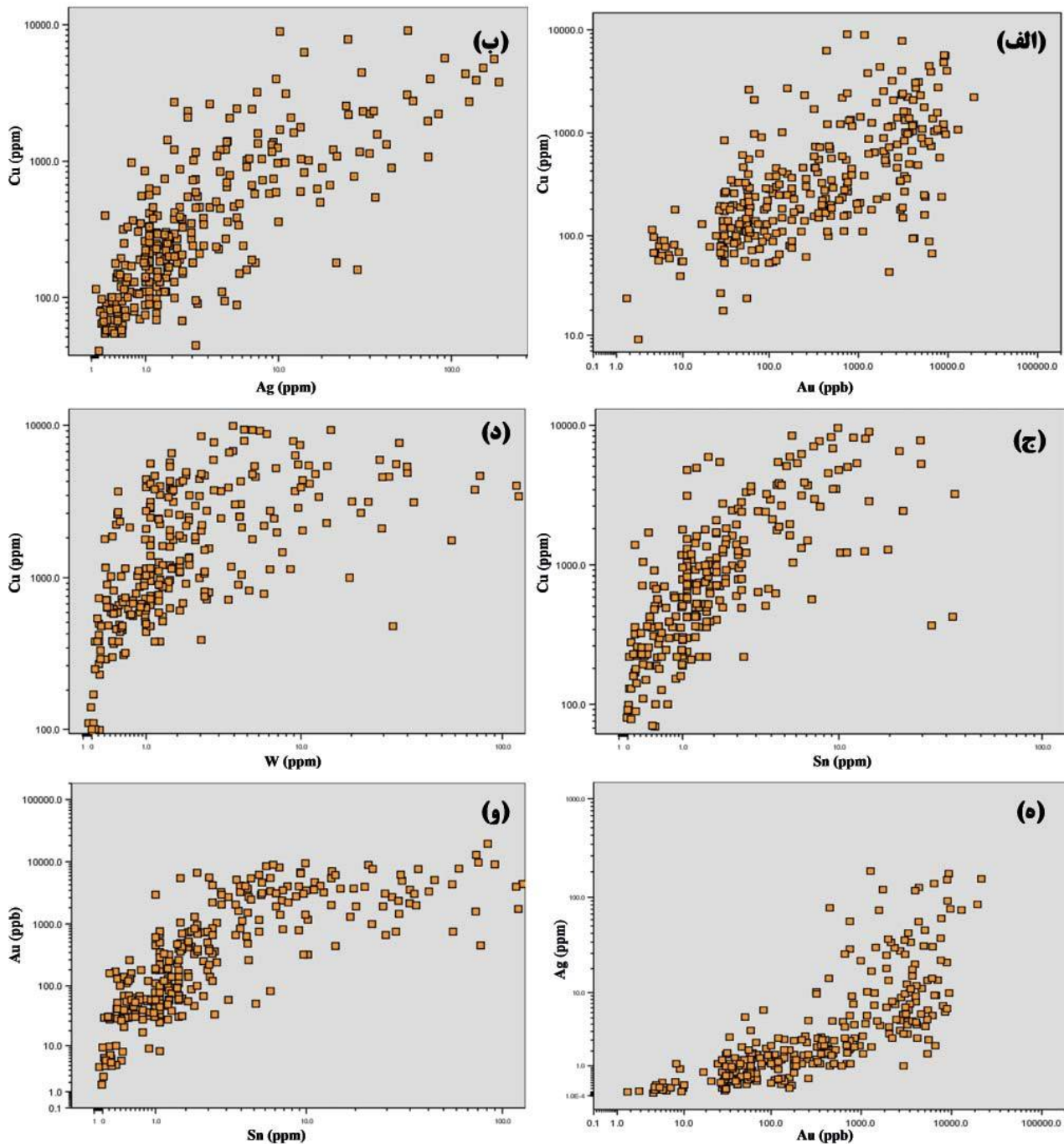
KMO and Bartlett's Test		
Kaiser - Meyer - Olkin Measure of Sampling Adequacy.		.759
Bartlett's Test of Sphericity	Approx. Chi - Square	30.072
	df	21
	Sig.	.091

- 1- Proximal  
2- Productive



اسکارن متناظر با ترکیب شیمیایی خاصی از توده نفوذی است. ویژگی‌های توده گرانیتویدی سرخ کوه از نظر اکسیدهای اصلی مانند  $\text{CaO}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{FeO}$  مورد بررسی قرار گرفته و همخوانی مناسبی با توده‌های نفوذی مولد اسکارن مس - آهن و طلا نشان می‌دهد (شکل‌های ۱۱ و ۱۲) که بر این اساس، توده نفوذی منطقه، نقش مهمی به عنوان خاستگاه تأمین فلز در منطقه دارد. در نمودار  $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$  در برابر  $\text{SiO}_2$

همراه، تمایز میان اسکارن مولد<sup>۱</sup> از عقیم<sup>۲</sup> و محیط زمین‌ساختی ذخیره است که با استفاده از بررسی رفتار عناصر اصلی و کمیاب انجام می‌شود. بر اساس مطالعات (Newberry et al., 1990)، (Meinert et al., 1990) و (Meinert 1995)، توده‌های نفوذی نقش بسزایی در تشکیل اسکارن و تأمین مواد معدنی دارند، به گونه‌ای که بین کانسارهای اسکارن و توده‌های نفوذی همراه، ارتباط تنگاتنگی وجود دارد و بر اساس این پژوهش‌ها هر نوع



شکل ۹. نمودار همبستگی دوتایی عناصر کانسارساز شامل، (الف) مس - طلا، (ب) مس - نقره، (ج) مس - قلع، (د) مس - تنگستن، (ه) نقره - طلا، (و) طلا - قلع

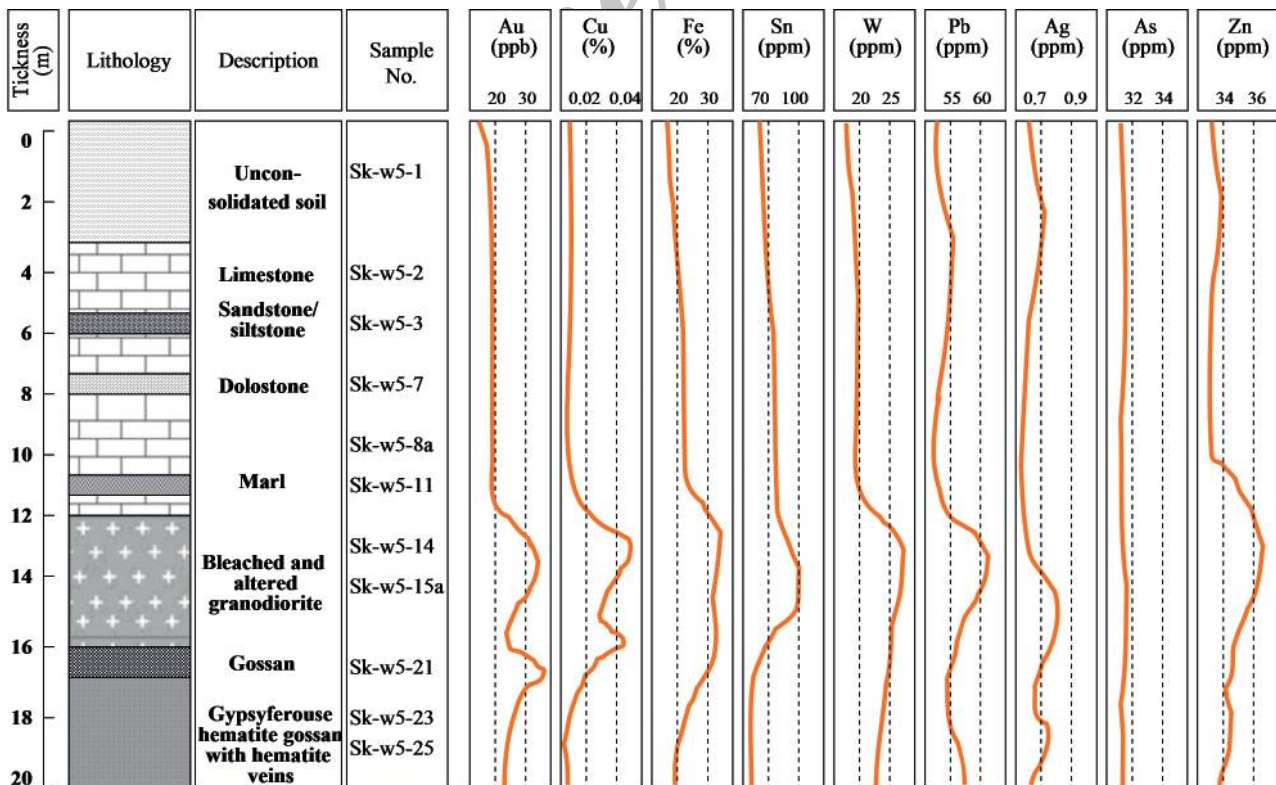
- 1- Distal
- 2- Barren

جدول ۴. ضرایب همبستگی رتبه‌ای اسپیرمن - پیرسون برای ۷ عنصر معرف کانه‌ساز در منطقه

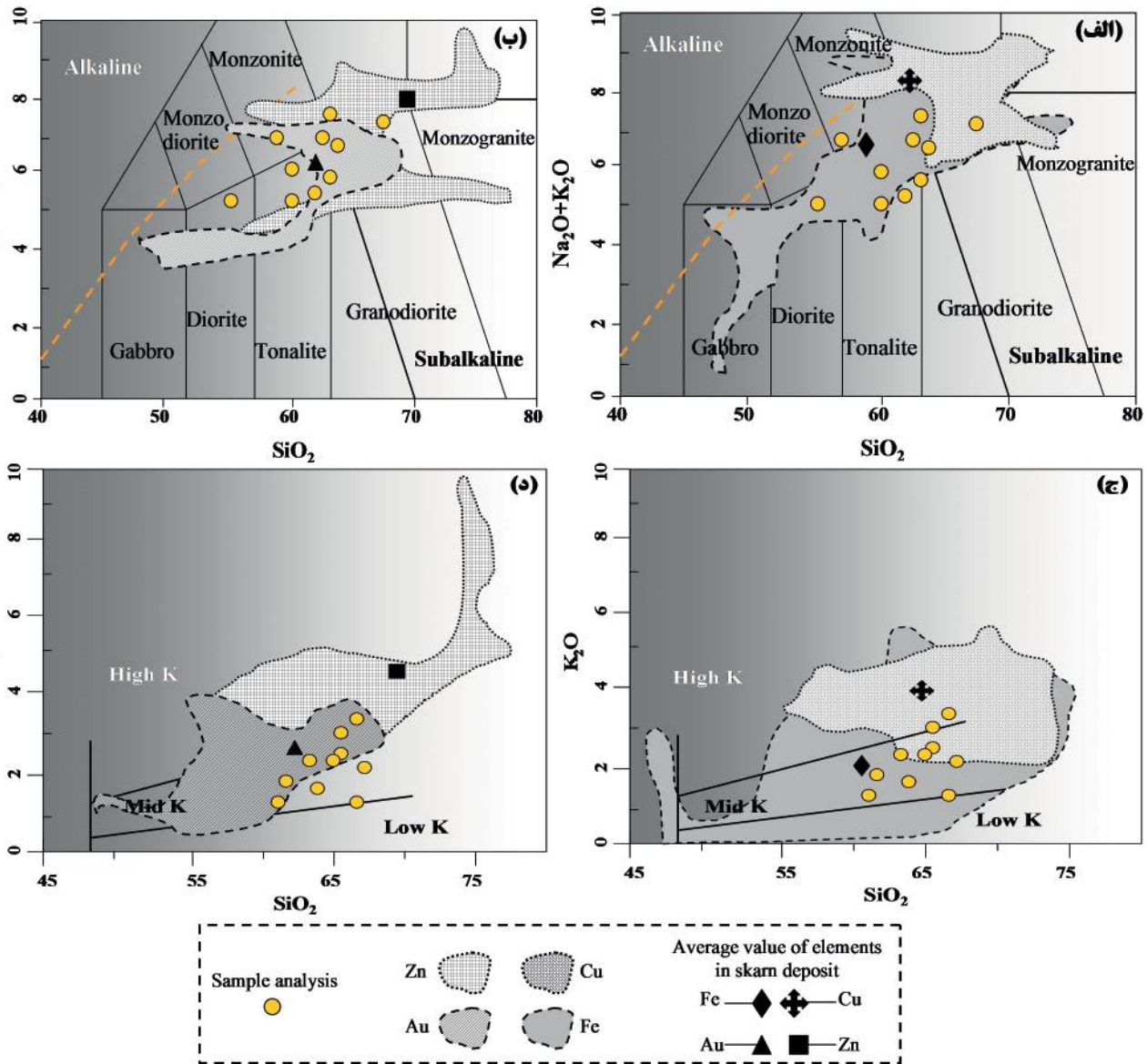
	Au	Cu	Fe	Sn	W	Ag	As
Au	1.000						
Cu	.708	1.000					
Fe	.021	.778	1.000				
Sn	.373	.322	.538	1.000			
W	.081	.063	.610	.789	1.000		
Ag	.600	.685	.498	.343	.173	1.000	
As	.075	.149	.020	.256	.110	.391	1.000

اساس نمودار (AFM (Irvine and Baragar, 1971)، نیز سنگ‌های منطقه دارای ماهیت نیمه‌قلیایی با گرایش به کلسیمی - قلیایی هستند که در محدوده اسکارن مس - آهن و طلا قرار می‌گیرند (شکل ۱۲ الف و ب). به عقیده (Meinert (1995 چنین خصوصیتی در پلوتون‌های اسکارن‌ساز اکسیدی - کاهیده تشکیل شده در محیط‌های زمین‌ساختی حاشیه قاره‌ای و کمان قاره‌ای رایج است. در نمودار (A/CKN (Maniar and Piccoli, 1989، دامنه تغییرات مولار نسبت  $Al_2O_3/(Na_2O+K_2O+CaO)$  بین ۰/۷ تا ۱/۲ منطبق با سنگ‌های متآلومین تا کمی پرآلومین است که در آن سنگ‌ها در محدوده اسکارن طلا - آهن قرار می‌گیرند (شکل ۱۲ ج و د).

(Middlemost et al., 1994) سنگ‌های منطقه در محدوده گرانودیوریت، تونالیت، دیوریت و مونزونیت با ماهیت نیمه قلیایی قرار گرفته‌اند که منطبق با پلوتون‌های بارور مرتبط با اسکارن مس - آهن و طلا است (شکل ۱۱ الف و ب). بر اساس نمودار  $K_2O$  در مقابل  $SiO_2$  (LeMaitre (1989، سنگ‌های آذرین منطقه عمدتاً در محدوده سنگ‌های دارای پتاسیم متوسط تا کمی بالا قرار گرفته است که متعلق به اسکارن‌های مس - آهن - طلا و کمتر روی هستند (شکل ۱۱ ج و د). بر اساس (Pons et al., (2010 و Meinert (1995، اغلب پلوتون‌های اسیدی تا حدواسط اکسیدی اسکارن‌ساز حاوی آهن و طلا در حوضه سنگ‌های متوسط تا کم‌پتاسیم قرار می‌گیرند. بر



شکل ۱۰. تغییرات ژئوشیمیایی عناصر کانساز طلا، مس، آهن، قلع، تنگستن، سرب، نقره، آرسنیک و روی در چاه شماره ۵ (W5) تا عمق ۲۰ متری در ارتباط با واحدهای سنگی مختلف



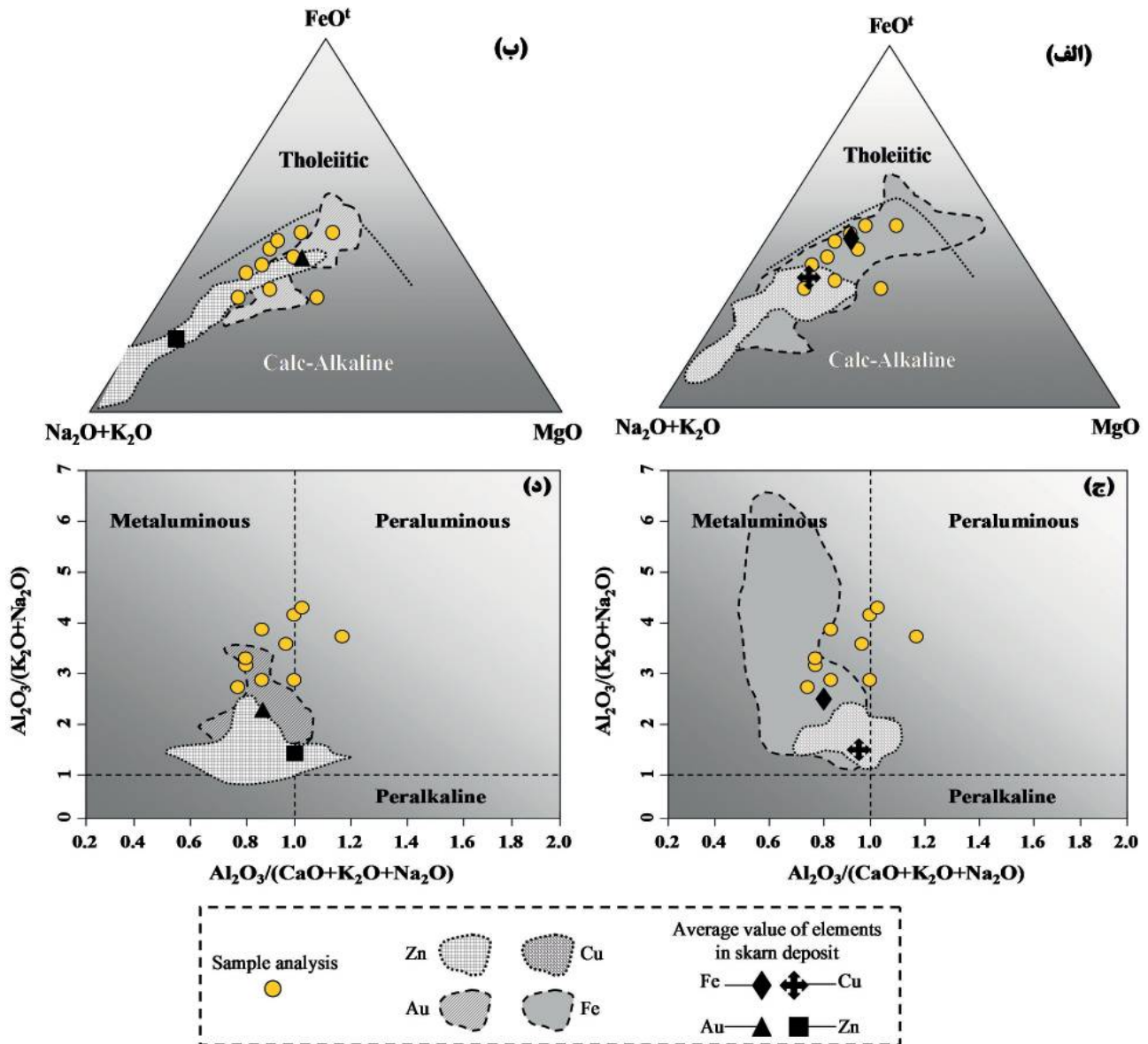
شکل ۱۱. الف و ب) سنگ‌های منطقه در محدوده گرانودیوریت، تونالیت، دیوریت و مونزونیت با ماهیت نیمه‌قلیایی، مرتبط با پلوتون‌های بارور مس - آهن و طلا (Middlemost et al., 1994)، ج و د) سنگ‌های منطقه در محدوده سنگ‌های پتاسیمی متوسط تا بالا مرتبط با اسکارن‌های مس - آهن - طلا (LeMaitre, 1989)

در منطقه داشته‌اند. خصوصیات ژئوشیمیایی عناصر اکسیدی اصلی توده‌نفوذی سرخ‌کوه، همخوانی مناسبی با توده‌نفوذی مولد اسکارن مس - آهن و طلا در منطقه نشان می‌دهد. همچنین بر اساس خصوصیات سنگ‌شناسی، کانی‌شناسی، بافت و ساخت و دگرسانی، کانسار سرخ‌کوه، متشکل از گرانیت سرخ‌کوه به عنوان خاستگاه عناصر کانه‌ساز، پهنه اسکارن (متشکل از دو بخش درون و برون‌اسکارن)، کانسنگ سولفیدی - اکسیدی، رگه‌های تأخیری متشکل از کوارتز، کلسیت، سیدریت و پیریت و سنگ آهک بلورین میزبان است که در آن سیال گرمابی و توده‌نفوذی، حاصل فرآیندهای تفریق و تبلور ماگماتیسیم منطقه بوده که به تدریج طی فازهای مختلف به صورت بلور - مذاب، بلور - مذاب - سیال و مذاب - سیال از سیال از ماگمای والد تفریق یافته است.

### نتیجه‌گیری

نفوذ توده گرانیتوئیدی سرخ‌کوه با ماهیت کلسیمی - قلیایی متوسط تا پتاسیم بالا، مشابه با گرانیت‌های ایلمنیتی سری کاهیده نوع S به سن ژوراسیک میانی تا پسین، باعث تزریق حجم زیادی از سیالات گرمابی حاوی عناصر مس - آهن (قلع و تنگستن) در سنگ‌های کربناتی پرمین، و در پی آن ایجاد دگرگونی ایزوشیمیایی، متاسوماتیسیم قلیایی و تشکیل هاله اسکارنی و نهشت کانسار مس - آهن سرخ‌کوه در منطقه شده است. در این میان گسل‌های امتداد لغز راستگرد با راستای شمال خاوری - جنوب باختری، شمالی - جنوبی و شمال باختری - جنوب خاوری نقش مهمی در مهاجرت سیال کانه‌دار از عمق به سطح پس از سرد شدن توده‌نفوذی و رخداد کانه‌زایی





شکل ۱۲. الف و ب) ماهیت کلسیمی - قلیایی سنگ‌ها در محدوده اسکارن مس - آهن و طلا در نمودار سه‌تایی (AFM (Irvine and Baragar, 1971) ج و د) دامنه تغییرات مولار نسبت  $Al_2O_3/(Na_2O+K_2O+CaO)$  بین ۰/۷ تا ۱/۲ سنگ‌های منطقه مرتبط با پلوتون‌های بارور طلا - آهن در نمودار A/CNK (Maniar and Piccoli, 1989)

رسوبی فلیش در شرق ایران و توجیه آن با تئوری تکتونیک صفحه‌ای، گزارش شماره ۲۲، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.  
 - امامی، م. ه.، ۱۳۷۹. ماگماتیسزم در ایران، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، گزارش شماره ۷۱، ۶۲۲.  
 - ایتوک ایران، ۱۳۸۶. گزارش اکتشاف عناصر پلی‌متال در محدوده سرخ‌کوه (خراسان جنوبی)، ۹۰.  
 - بورنا، م.، ۱۳۶۴. بررسی ژئوشیمی کانسار آنتیموان شوراب، گزارش شماره ۱۱ سازمان زمین‌شناسی کشور، ۱۲۰.  
 - ضیایی، م.، و عابدی، آ.، ۱۳۸۲. کانی‌سازی مس پورفیری در کمربند متالورژی حاشیه کویر لوت، یازدهمین کنفرانس بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران، دانشگاه یزد، ۵۹ - ۵۷.

### منابع

- اسماعیلی، د.، ۱۳۸۰. پترولوژی و ژئوکرونولوژی توده گرانیتی شاهکوه (جنوب بیرجند)، با نگرش ویژه به کانی‌زایی قلع، رساله دکتری، دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده علوم پایه، ۲۹۶.  
 - اشتوکلین، ی.، افتخار نژاد، ج.، و هوشمندزاده، ع.، ۱۳۵۲. بررسی مقدماتی زمین‌شناسی در لوت مرکزی، خاور ایران. سازمان زمین‌شناسی کشور، گزارش شماره ۲۲، ۸۶.  
 - اشراقی، ح.، راستاد، ا.، امامی، م.، ح.، و عسگری، ع.، ۱۳۸۷. کانه‌زایی طلای هیرد: نمونه‌ای از ذخایر طلای مرتبط با نفوذی‌های گرانیتوئیدی کاهیده در ایران (جنوب بیرجند)، فصلنامه علوم‌زمین سازمان زمین‌شناسی کشور، سال هجدهم، ۶۹، ۲ - ۱۹.  
 - افتخارنژاد، ج.، ۱۳۵۲. مطالبی چند درباره تشکیل حوضه

- granite types: *Pacific Geology*, 8, 173 - 174.
- Cox, K.G., Bell, J.D. and Pankhurst, R.J., 1979. The Interpretation of Igneous Rocks: George Allen and Unwin, London.
- Deer, W.A., Howie, R.A. and Zussman, J., 1992. An Introduction to the Rock Forming Minerals. Second edition, Longman Scientific and Technical, 696.
- Einaudi, M.T., 1982. General features and origin of skarn associated with porphyry copper plutons. *Advances in Geology. Porphyry Copper Deposits: Southwest. North America*, 185 - 210.
- Gill, R., 2010. *Igneous Rocks and Processes: a practical guide*, John Wiley and Sons Ltd, 472.
- Hart, C.J.R. and Goldfarb, R.J., 2005. Distinguishing intrusion - related from orogenic gold systems. *New Zealand Minerals Conference Proceedings*, 125-133.
- Irvine, T.N. and Baragar, W.R.A., 1971. A guide to the Chemical classification of the common volcanic rocks. *Canadian Journal of Earth Science*, 8, 523 - 548.
- Jung, D., Keler, G., Khorasani, R., Marks, K., Buman, A. and Kuren, P., 1983. Petrogenesis of Tertiary magmatic activity in Northern Lut region (East Iran), *Geological Survey of Iran*.
- Kamvong, T. and Zaw, Kh., 2009. The origin and evolution of skarn - forming fluids from the Phu Lon deposit, northern Loei Fold Belt, Thailand: Evidence from fluid inclusion and sulfur isotope studies. *Journal of Asian Earth Sciences*, 34, 624-633.
- Karimpour, M.H., Zaw, Kh. and Huston, D.L., 2005. S - C - O isotopes, fluid inclusion microthermometry, and the genesis of ore bearing fluids at Qaleh - Zari Fe - Oxide Cu - Au - Ag mine. *Journal of Sciences, Islamic Republic of Iran*, 16, 153 - 168.
- LeMaitre, R.W., 1989. A classifications of igneous rocks and glossary of terms, Blackwell Scientific Publications, 191.
- Lotfi, M., 1982. Geological and geochemical investigation on the volcanogenic Cu - Pb - Zn - Sb ore mineralization in the Shurab - Gale chah and northwest of khur. PhD thesis, University of Hamburg, 152.
- Maniar, P.D. and Piccoli, P.M., 1989. Tectonic discrimination of granitoids. *Geological Society of America bulletin*, 101. 635 - 643.
- Meinert, L.D., Brooks, J. W. and Myers, G. L., 1990. Whole rock geochemistry and contrast among skarn -
- رحیمی، ه، ۱۳۸۳. بررسی ژئوشیمیایی، دگرسانی و زمین شناسی اقتصادی کانسار آنتیموان شوراب (جنوب خراسان)، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت معلم تهران، ۲۱۰.
- سازمان زمین شناسی کشور، نقشه زمین شناسی ۱/۲۵۰۰۰۰ نایبندان، ۱۳۶۰.
- سازمان زمین شناسی کشور، نقشه زمین شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ سه چنگی، ۱۳۸۳.
- سامانی، ب، ۱۳۸۸. گزارش بازدید از محدوده اکتشافی سرخ کوه در منطقه خوسف - بیرجند (خراسان جنوبی)، ۱۰.
- طالع فاضل، ا، یداله‌ی، ر، و اقبالی، م.ع، ۱۳۸۸. مطالعه کانی سازی پلی متال گرانیات سرخ کوه (خوسف - بیرجند) به عنوان گرانیات تیپ S، بیست و هفتمین گردهمایی علوم زمین و سیزدهمین همایش انجمن زمین شناسی ایران، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- قورچی رودکی، م، سعادت، س، عاشوری، ع، ۱۳۸۸. پترولوژی، آتراسیون و کانی سازی توده های نفوذی مناطق طاهرآباد و بجستان، مجله زمین شناسی اقتصادی، ۱، ۸۳ - ۱۰۰.
- لطفی، م، ۱۳۷۴. خلاصه ای بر مطالعه فاز متالوژنی پیرنه ای در رابطه با سنگ های ولکانیک، ساب ولکانیک بخش شمالی پهنه لوت مرکزی، چهارمین گردهمایی علوم زمین.
- ملک زاده شفا رودی، آ، کریم پور، م.ح، مظاهری، ا، ۱۳۸۸. زمین شناسی، دگرسانی، کانی سازی و ژئوشیمی گستره MA-II، منطقه پیجویی مس - طلای پورفیری ماهرآباد، خراسان جنوبی، مجله بلورشناسی و کانی شناسی ایران، ۱۷، ۶۳۹ - ۶۵۴.
- مهرابی، ب. و طالع فاضل، ا، ۱۳۹۰. بررسی نقش اختلاط سیالات ماگمایی و جوی در کانه زایی کانسار پلی متال شوراب (جنوب فردوس) با استفاده از شواهد ژئوشیمی ایزوتوپی و میکروترموتری، مجله بلورشناسی و کانی شناسی ایران، ۱۹، ۱۲۱ - ۱۳۰.
- Alavi, M., 1994. Tectonics of the Zagros orogenic belt of Iran: New data and interpretations. *Tectonophysics*, 229, 211-238.
- Azimi, A. and Saidy, A., 1975. Geological Map of Iran, 1:100000 series, Sheet 7655, Sehchangi, Geological survey of Iran.
- Berberian M., Jackson J.A., Qorashi M., Khatib M.M., Priestley K., Talebian M. and Ghafuri - Ashtiani, M., 1999. The 1997 may 10 Zirkuh (Qaenat) earthquake (Mw 7.2): faulting along the Sistan suture zone of eastern Iran, *Geophysical Journal International*, 136, 671 - 694.
- Carig, J.R.H., 2005. Classifying, distinguishing and exploring for intrusion - related gold system, *The Gangue*, 1 - 18.
- Chappell, B.W., White, A.J.R., 1974. Two contrasting

types: in Meinert, L.D. (ed), skarn deposits in Nevada, Great Basin Symposium, Geology and ore deposits of the Great Basin, Geological Society of America, Fieldtrip 2, Guide book, 179 - 192.

- Meinert, L.D., 1995. Compositional variation of igneous rocks associated with skarn deposits, chemical evidence for genetic connection between petrogenesis and mineralization, British Columbia.

- Middlemost, E.A.K. 1994. Towards a comprehensive classification of igneous rocks and magmas, Earth, Science Reviews 31, 73 - 87.

- Mpodozis, C. and Ramos, V., 2002. The Andes of Chile and Argentina, Cordillera de los Andes geological and mining potential, the new tectonic and metallogenic approach. International Symposium, Mendoza, Argentina, 59-90.

- Newberry, R.J., Burns, L.E., Sawmson, S.E. and Smith, T.E., 1990. Comparative petrologic evolution of the Sn and W granites of the Fairbanks - Circle area, interior Alaska: in Stein, H.J. and Hannah, J.L. (eds), Ore bearing granite systems:

- Oyman, T., 2010. Geochemistry, mineralogy and genesis of the Ayazmant Fe-Cu skarn deposit in Ayvalik, (Baliakesir), Turkey. Ore Geology Reviews, 37, 175-201.

- Pearce, J.A. and Can, J.R., 1973. Tectonic setting of basic volcanic rocks determined using trace elements analysis. Earth Planetary Science, 290 - 300.

- Peccerillo, R. and Taylor S. R., 1976. Geochemistry of Eocene calc - alkaline volcanic rocks from the Kastamonu area, north Turkey, Contributions to Mineralogy and Petrology, 58, 63 - 81.

- Pons, J., Franchini, M., Meinert, L., López - Escobar, L. and Maydagán, L., 2010. Geology, petrography and geochemistry of igneous rocks related to mineralized skarns in the NW Neuquén basin, Argentina: Implications for Cordilleran skarn exploration. Ore Geology Reviews, 38, 37-58.

- Tarkian M., Lotfi, M. and Baumann, A., 1983. Tectonic, magmatism and the formation of mineral deposits in the central Lut, east Iran, Ministry of mines and metals, GSI, geodynamic project (geotraverse) in Iran, 511, 357 - 383.

- Thompson, M. and Howarth, R.J. and 1976. Duplicate analysis in geochemical practice (2 parts). Analyst. 101, 690 - 709.

- Tirrul, R., Bell, I.R., Griffis, R.J., Camp, V.E., 1983. The Sistan suture zone of eastern Iran, Geological Society of America Bulletin, 94, 134 - 156.

- Vallance, J., Fontboté, L., Chiaradia, M., Markowski, A., Schmidt, S., Vennemann, T., 2009. Magmatic - dominated fluid evolution in the Jurassic Nambija gold skarn deposits (southeastern Ecuador). Mineralium Deposita 44, 389 - 413.