

مقاله پژوهشی

مقایسه شاخص‌های منطقه‌بندی در تعیین موقعیت توده معدنی مس پورفیری در آلو، جنوب استان کرمان

فرشته حسن زاده^۱، محمود شمس‌الدینی^۲، غلامرضا رحیمی‌پور^{۳*}

۱. دانشجوی دکتری مهندسی معدن، بخش مهندسی معدن، دانشگاه شهید باهنر کرمان، Fereshte.hasanzaadeh@gmail.com
 ۲. دانشجوی دکتری مهندسی معدن، بخش مهندسی معدن، دانشگاه شهید باهنر کرمان، Mahmoud.shamsaddini@gmail.com
 ۳. استادیار بخش مهندسی معدن، دانشگاه شهید باهنر کرمان، rahimipour@uk.ac.ir

(دریافت: ۱۳۹۹/۰۲/۱۲ - پذیرش: ۱۴۰۰/۰۱/۱۶)

چکیده

کانسار مس پورفیری در آلو در ۱۳۰ کیلومتری جنوب استان کرمان و در زون متالوژنی دهج- ساردوبیه واقع شده است. میزان ذخیره اقتصادی تخمین زده شده برای کانسار تا سال ۱۳۹۸، ۲۹۴ میلیون تن با متوسط عیار مس ۰٫۳۵ درصد است. مطالعه شاخص‌های منطقه‌بندی در تشخیص نوع کانسار، موقعیت و تعیین عمق توده معدنی کاربرد دارد. در این مطالعه شاخص‌های منطقه‌بندی استاندارد که در شناخت وضعیت قرارگیری کانسارهای مس پورفیری جهان کاربرد دارد، در کانسار مس در آلو با یکدیگر مقایسه شدند. از میان این شاخص‌ها، شاخص منطقه‌بندی Cu/Mo و پس از آن شاخص‌های (Zn)(Pb)/(Cu)(Mo) رفتار قانونمندی در مقایسه با شاخص‌های دیگر از خود نشان می‌دهند که روند آن‌ها به طور پیوسته نزولی از سطح به عمق کاهش پیدا می‌کند. بر اساس مقادیر عددی شاخص منطقه‌بندی (Zn)(Pb)/(Cu)(Mo) کانسارهای استاندارد مس پورفیری، توده معدنی در آلو در ارتفاع مطلق ۲۹۵۰ تا ۲۷۵۰ متری و عمق هاله‌های زیر کانساری از ارتفاع ۲۷۵۰ تا ۲۵۵۰ متری تعیین شد، در حالی که بر اساس مقادیر عددی شاخص Cu/Mo، عمق نهایی هاله‌های زیر کانساری ۲۴۲۵ متر تخمین زده شد که البته نتایج هر دو شاخص یکدیگر را تایید و با یکدیگر همپوشانی دارند. همچنین با استفاده از قدرت تولید خطی عناصر در افق‌های مختلف ردیف زونالیت‌ها عناصر به صورت Mo- (V, Co)- Au- Ag- Ni- Pb- As- Sb- Cu- (Zn, Cd, Mn) از سطح به عمق محاسبه شد، به گونه‌ای که بیشترین مولیبدن متعلق به ارتفاع مطلق ۲۵۵۰ متر در عمیق‌ترین بخش کانسار و بیشترین مقدار روی در ارتفاع ۲۹۵۰ متری (سطح کانسار) ثبت شد. با بررسی شاخص‌ها و توالی عناصر مشخص شد که هاله‌های فوق کانساری شسته شده و از بین رفته‌اند و توده معدنی نزدیک سطح زمین قرار گرفته است.

کلمات کلیدی

ردیف زونالیت‌ها، شاخص منطقه‌بندی، کانسار مس پورفیری، توده معدنی در آلو.

* نویسنده مسئول مکاتبات.

۱- مقدمه

انتشار و پراکندگی عناصر از راه ورود محلول‌های گرمایی به داخل سنگ میزبان علاوه بر دگرسانی باعث توزیع منطقه‌ای عناصر و تشکیل هاله‌های اولیه اطراف یک توده معدنی در سه جهت طولی، عرضی و قائم می‌شود که در عملیات میدانی، منطقه‌بندی قائم هاله‌های اولیه اهمیت بیشتری دارند [۳][۲۷]. مطالعه وضعیت منطقه‌بندی عناصر با استفاده از شاخص‌های منطقه‌بندی می‌تواند به عنوان کلید اکتشاف کانسارهای پنهان و معیاری در تعیین سطح فرسایش توده‌های معدنی، تشخیص نوع کانسار، تعیین کف توده معدنی و همچنین اقتصادی و یا غیراقتصادی بودن کانسارها به کار رود [۱۴][۳۱][۳۱][۱۵]. هاله‌های ژئوشیمیایی به گفته گریگوریان (۱۹۷۴) می‌تواند یک کانسنگ معدنی را که در عمق ۸۰۰ متری قرار دارد آشکار سازد. در هنگام تشکیل یک کانسار هیدروترمال هاله‌های ژئوشیمیایی عناصر از عمق به سطح به تشکیل می‌شوند به طوری که گسترش هاله‌های جیوه و باریم در سطح و تنگستن و مولیبدن به طرف عمق کانسار افزایش می‌یابد [۲۰]. هاله‌های ژئوشیمیایی را به انواع هاله‌های اولیه و ثانویه، هاله‌های تحت کانساری و فوق کانساری تقسیم‌بندی می‌کنند [۱۷][۲۷]. بر اساس گفته گریگوریان و بئوس (۱۹۷۷) اولین نکته در استفاده از نسبت‌های عنصری در منطقه‌بندی محیط‌های هیدروترمال هایپوزن و مناطق اکسیداسیون ثانویه این است که از عناصر موجود در بالای کانسار (هاله‌های فوق کانساری) که در دماهای پایین‌تر تشکیل می‌شود (مانند طلا و نقره) و از عناصر تحت کانساری (هاله‌های تحت کانساری) که در دماهای بالاتر شکل می‌گیرند (مانند مس و مولیبدن) برای بررسی وضعیت قرارگیری توده معدنی بهره گرفته شود [۱۵][۱۷]. گریگوریان و اوچینکونوف با انجام تحقیقاتی بر روی ۳۰۰ نهشته مختلف، زونالیته عمودی هاله‌های اولیه ذخایر سولفیدی هیدروترمال را مشخص و برای کانسارهای مس پورفیری شاخص زونالیته (Zn)(Pb)/(Cu)(Mo) پیشنهاد کردند [۲۷]. مطالعات زیادی روی هاله‌های ژئوشیمیایی کانسارهای مس پورفیری در سراسر دنیا انجام شده و نحوه قرارگیری عناصر در عمق‌های مختلف کانسار مدل‌سازی شده است. به عنوان مثال در مطالعه هاله‌های ژئوشیمیایی اولیه کانسارهای مس و مولیبدن پورفیری توسط نورمی در سال ۱۹۸۵ الگوی پراکندگی عناصر و نسبت‌های بین آن‌ها مشخص شد و عناصر طلا، سرب، روی و آنتیموان به عنوان عناصر ردیاب در اکتشاف آنومالی‌های کور و آنومالی‌های با سطح فرسایش ضعیف بیان شده است [۲۶]. زوندی (۱۹۸۹) هاله‌های ژئوشیمیایی پیرامون اولین کانسار قلع پورفیری در چین را مورد مطالعه قرار داد و الگوی پراکندگی عناصر (توالی عناصر) از بالا به پایین کانسار را ارائه کرد و با استفاده از

شاخص‌های زونالیته مختلف از جمله Li/W ، $Li/Sn/W/Mo$ و $Li/Sn/Be/W/Mo/Nb$ وضعیت قرارگیری کانسارهای موجود و عمق توده‌های معدنی کور را تخمین زد [۳۱]. در معدن طلای ای ال سید مصر هاله‌های ژئوشیمیایی اولیه اطراف کانی‌سازی طلا توسط هاراز (۱۹۹۵) مورد بررسی قرار گرفت و میزان فراوانی هر یک از عناصر در بخش‌های فوقانی و تحتانی توده و رگه‌های کوارتزار با یکدیگر مقایسه شد و از شاخص زونالیته Hg/Ag برای تعیین سطح فرسایش کانسار استفاده شد [۲۱]. نتیجه مطالعه الگوی توزیع عناصر و بررسی ارتباطشان با یکدیگر در کانسار مس-نیکل در شمال‌غرب کشور چین، اکتشاف ۲ کانسار پنهان در منطقه مورد نظر توسط لی و همکارانش بود [۲۴]. در کانسارهای مس پورفیری پولانگ واقع در جنوب غرب کشور چین از شاخص زونالیته $(Zn)(Ag)/(W)(Mo)$ برای بررسی وضعیت توده معدنی استفاده شده است [۳۳]. موریکامی و همکاران (۲۰۱۰) از نسبت Cu/Mo برای بررسی عمق کانی‌سازی در نهشته‌های مس-طلا-مولیبدن پورفیری استفاده کرده است [۲۵]. همچنین محققان در سال ۲۰۱۴ در معدن طلای آتود مصر برای پیدا کردن آنومالی‌های پنهان، منطقه‌بندی محوری عناصر در اطراف رگه‌های کوارتزار را مشخص کردند و از شاخص زونالیته $Pb/Cu/U/Zn$ برای نشان دادن مناطق دارای پتانسیل کانی‌سازی طلا استفاده کردند [۲۲]. همچنین در ایران شفیعی و شهاب‌پور در سال ۲۰۰۸ مقدار عددی برای نسبت‌های Cu/Au و Au/Mo را در کانسارهای مس پورفیری با عیار طلای پایین در استان کرمان ارائه کرده‌اند [۲۹]. تقی‌پور و همکاران (۲۰۱۰) الگوی پراکندگی عناصر و شاخص‌های زونالیته مختلف را در زون‌های دگرسانی اطراف کانسار مس پورفیری میدوک تشریح کرده‌اند [۲]. از دیگر نسبت‌هایی که در نهشته‌های مس پورفیری جهان از جمله کانادا، آمریکا، قزاقستان، بلغارستان و ایران در زمینه بررسی موقعیت کانسارهای مس پورفیری استفاده شده است می‌توان به Ag/Au ، Au/Cu ، Cu/Mo ، $(Zn)(Pb)/(Cu)(Ag)$ ، $(Zn)(Pb)(Bi)/(Cu)(Mo)(Ag)$ و نسبت $(Ag)(Au)/(Cu)(Mo)$ اشاره کرد که از نسبت آخر بیشتر به عنوان راهنمای اکتشافی کانسارهای مس پورفیری استفاده می‌شود [۱۵][۳۴]. حسینی و همکاران (۲۰۱۷) در اندیس مس پورفیری واقع در جنوب غرب کرمان از طریق شبیه‌سازی داده‌های ژئوشیمیایی از جمله شاخص‌های زونالیته با استفاده از روش گوسی متوالی توانستند مناطقی را که در آن جا عناصر از خود غنی‌شدگی نشان می‌دهند، پیدا کنند [۲۳]. درگاهی و همکاران (۱۳۹۹) نیز در کانسار چند فلزی چاه مسی با محاسبه میانگین عیار عناصر، سطح کانسار را در ترازهای مختلف مشخص کرده‌اند و احتمال وجود عیارهای قابل قبول در عمق بیشتر پیشنهاد داده شده است

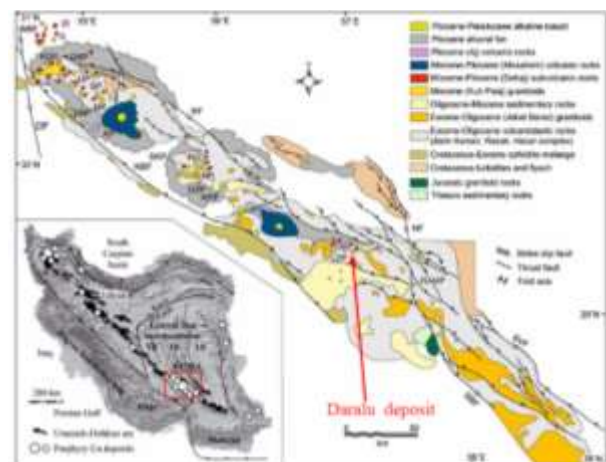
این منطقه از واحدهای آتشنشانی - آذر آوری متعلق به ائوسن میانی و توده‌های نفوذی الیگوسن تشکیل شده است و جنس سنگ‌های درونی از نوع گرانودیوریتی و کوارتز مونزونیتی است که به صورت توده‌های کوچک گزارش شده است [۷][۲۸]. کانی‌زایی مس به صورت انتشاری و پورفیری درون توده‌های نفوذی و سنگ‌های بیرونی اسیدی (داسیت) انجام گرفته است. مطالعات زمین‌شناسی یوگسلاوها عیار میانگین مس و مولیبدن را به ترتیب ۱/۴۱ درصد و ۱۵۵ گرم در تن تعیین کرده بودند و ذخیره این معدن بین ۲ تا ۲/۵ میلیون تن برآورد شده بود [۱۵].

سنگ‌های ولکانیکی ائوسن طیف تفریقی جالبی از بازالت تا ریوداسیت را نشان می‌دهد. بازالت‌های دگرسان شده این منطقه دارای ۴۹/۷ درصد SiO_2 ، ۱۷/۶۸ درصد Al_2O_3 ، ۲/۷۴ درصد Na_2O و ۰/۱۸ درصد K_2O بوده‌اند (جدول ۱) و به شدت تحت تاثیر دگرسانی رسی و اکسیداسیون قرار گرفته‌اند. در این منطقه نمونه‌های بازالت‌های دگرسان شده نسبت به سنگ‌های بازالتی نمونه جهانی تغییرات معناداری را نشان نمی‌دهند. آندزیت‌های دگرسان شده در مقایسه با سنگ‌های حد واسط غیردگرسان از مس، سرب و وانادیوم به ترتیب به میزان ۵، ۳۴ و ۵ بار غنی‌ترند. همچنین سنگ‌های داسیتی دگرسان از عناصر مس، مولیبدن و وانادیوم به ترتیب ۴، ۱۷ و ۵ بار بیشتر نسبت به سنگ‌های اسیدی نمونه جهانی افزودگی نشان می‌دهند. سنگ‌های کوارتز دیوریتی غنی‌شدگی قابل توجهی از مس و مولیبدن را نشان می‌دهند. در این سنگ‌ها عیار نقره و طلا به ترتیب ۱۴۴ و ۳۴ برابر بیشتر از عیار آن در سنگ‌های حدواسط است [۷][۱۵] (جدول ۲). بررسی ژئوشیمیایی عناصر خاص در سنگ‌های داسیتی دگرسان شده این منطقه مقدار As ، Sb و Bi را به دلیل جانشینی در سولفیدها و سولفوسالت‌ها به ترتیب ۲۳، ۱۱/۶ و ۱۱ برابر بیشتر از سنگ‌های اسیدی غیردگرسان شده نشان می‌دهد (جدول ۲) همچنین مقدار عناصر As ، Sb و In به ترتیب ۲۱۷، ۴۱ و ۳۰ بار نسبت به سنگ‌های حدواسط میانگین جهانی افزایش نشان می‌دهند (جدول ۲). گسل‌های موجود در محدوده مورد مطالعه دارای سه روند شمال‌غرب - جنوب‌شرق، شمال‌شرق - جنوب‌غرب و شرقی - غربی‌اند. از نظر پراکندگی، گسل‌های شمال‌غرب - جنوب‌شرق در نیمه شمال به ویژه در بخش مرکزی و شمال‌غرب کانسار اما در بخش شمال‌شرق و جنوب‌غرب به ترتیب گسل‌های با روند NE-SW و E-W غالب‌اند. اکثر گسل‌های اصلی منطقه از روند کمربند ارومیه دختر (شمال‌غرب - جنوب‌شرق) پیروی کرده و از نوع گسل

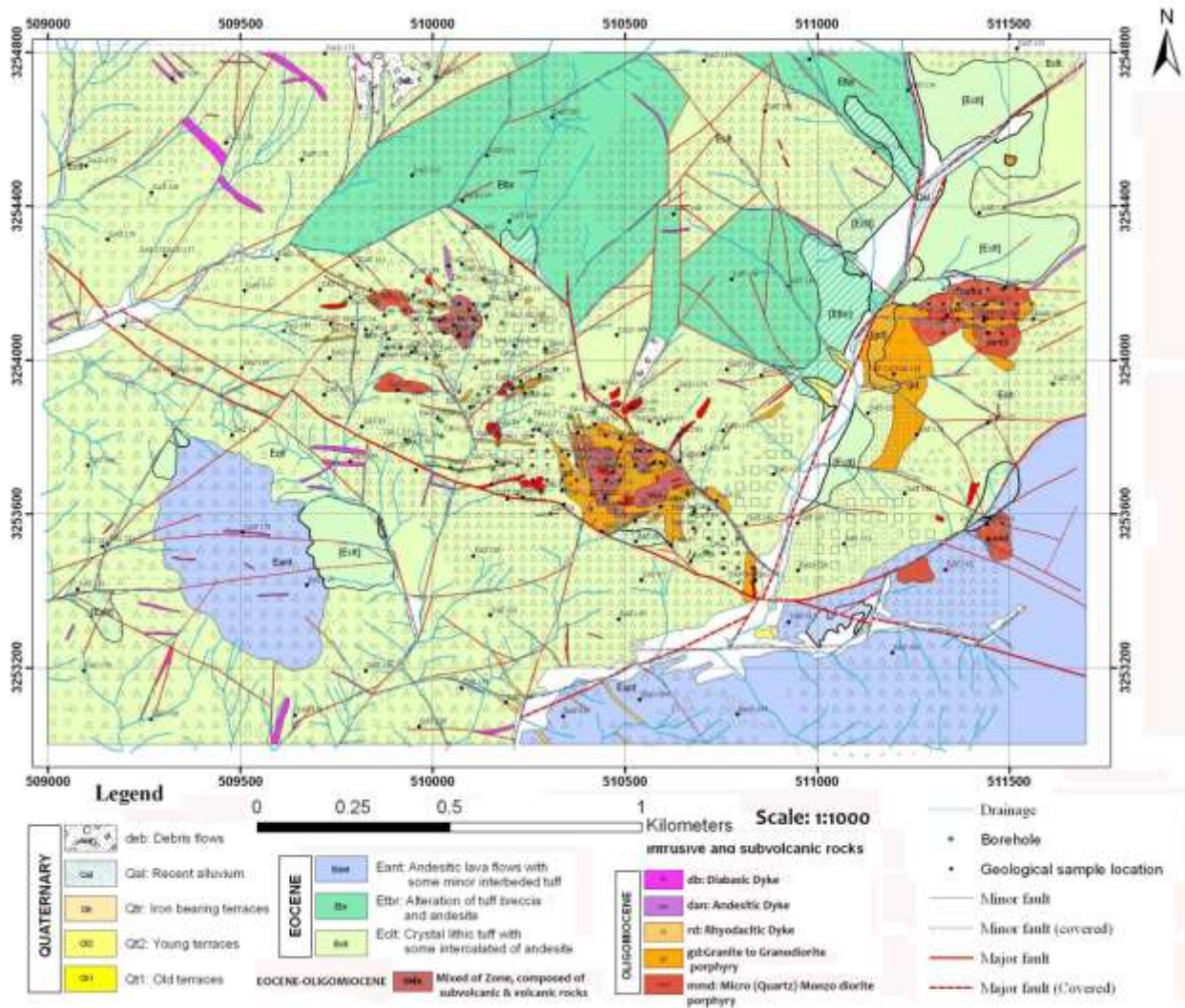
[۵]. همچنین علی یاری و همکاران (۲۰۲۰) یک شاخص منطقه‌بندی توسعه یافته $(Pb,Zn,Au,Ag,Mn,Cd,As)/(Cu,Mo)$ را با استفاده از آنالیز چندمتغیره و فرکتال برای شناسایی هاله‌های ژئوشیمیایی در نهشته‌های مس و مولیبدن پورفیری معرفی کردند. نتایج نشان داد که آنومالی اصلی در شاخص منطقه‌بندی توسعه یافته با واحدهای نفوذی، سنگ‌های کانی‌سازی شده و چاه‌های اکتشافی همبستگی دارد [۱۳]. منطقه مورد مطالعه در این تحقیق کانسار معدنی مس پورفیری در آلو در کمربند مس‌زایی دهج - ساردویییه واقع شده است که مطالعات مربوط به بررسی‌های آماری، مطالعات کانی‌شناسی، ژئوشیمی، ژئوفیزیکی و عملیات حفاری در این کانسار توسط افراد و شرکت‌های مختلفی انجام گرفته است [۱][۴][۹][۱۰][۱۱][۱۲][۱۸][۲۸]. هدف از این مطالعه، مقایسه رفتار شاخص‌های منطقه‌بندی مختلف در تعیین موقعیت و عمق کانسار و همچنین تعیین ردیف زونالیته در این توده معدنی است که برای این منظور از نتایج آنالیز شیمیایی نمونه‌های گرفته شده از ۱۲۲ مغزه حفاری بدست آمده از هاله اولیه و توده معدنی مس پورفیری در آلو بهره گرفته شده است.

۱-۱- موقعیت جغرافیایی و زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه

کانسار در آلو در ۱۳۰ کیلومتری جنوب کرمان و در ۷۰ کیلومتری جنوب شرق بافت در منطقه کوهستانی بین کوه‌های هزار و لاله‌زار قرار دارد. میزان بارندگی سالیانه در منطقه ۳۰۰ تا ۴۰۰ میلی‌متر و دارای آب و هوای سرد و کوهستانی است [۲۸] از نظر موقعیت قرارگیری این کانسار در زون متالوژنی دهج - ساردویییه قرار گرفته است که شامل بخشی از کمربند ارومیه دختر با طول حدود ۲۰۰۰ کیلومتر است که از ارومیه آغاز و تا بزمان در سیستان و بلوچستان ادامه دارد و تاکنون حدود ۵۰۰ کانسار و نشانه معدنی در این زون شناخته شده است (شکل ۱).

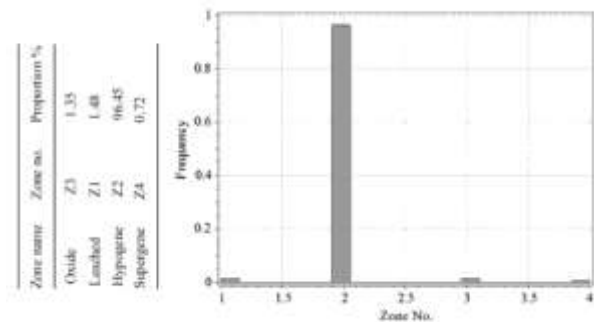


شکل ۱- توزیع کانسارهای اصلی مس پورفیری در کرمان ماگمایی ارومیه دختر و موقعیت کانسار مس در آلو در این کرمان [۲۸].



شکل ۲- نقشه زمین‌شناسی، گسل‌ها و موقعیت چاه‌های حفاری معدن مس پورفیری در آلو در مقیاس ۱:۱۰۰۰ (برگرفته شده از نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ ساردوییه و تکمیل شده توسط زرناز اکتشاف، ۱۳۸۸) [۷] [۱۸].

محدوده در آلو رخ داده و دگرسانی پروپیلیتیک را به دو بخش شمالی- جنوبی تقسیم می‌کند. کانی‌سازی هم به صورت پراکنده و هم در رگه‌ها دیده می‌شود. سه نوع از مهمترین کانی‌سازی که در رگه‌ها رخ داده است به شرح زیر است:



شکل ۳- درصد هر یک از زون‌های تشکیل شده در کانسار پورفیری مس در آلو [۳۰].

معکوس‌اند (شکل ۳). انواع دگرسانی‌های چهارگانه (پتاسیک، فیلیک، آرژلیک و پروپیلیتیک) همراه با دگرسانی سیلیسی شدن تقریباً در تمام وسعت محدوده در آلو رخ داده است. هرچند زون‌بندی منظم در پراکندگی دگرسانی‌ها مشاهده نمی‌شود ولی از یک نظام خطی تبعیت می‌کند که این امر به نقش بارز ساختارها و عملکرد آن‌ها به عنوان مجرای حرکت سیالات اشاره دارد. انواع دگرسانی‌ها با شدت و وسعت متفاوت تقریباً تمام سنگ‌های آتشفشانی، آذرآواری، نفوذی و ساب‌ولکانیک را تحت تاثیر قرار داده است. دگرسانی پروپیلیتیک با شدت متوسط و ضعیف در یک سوم شمالی و جنوبی محدوده رخ داده و از نظر وسعت بیشترین مقدار را دارد. دگرسانی پتاسیک، سیلیسی و آرژلیک به صورت پراکنده در بخش‌های مختلف قابل مشاهده است ولی دگرسانی فیلیک به طور متمرکز با روند شمال‌غربی- جنوب‌شرقی در بخش میانی

جدول ۱- میانگین، تغییرات و انحراف معیار اکسیدهای عناصر اصلی سنگ‌های مختلف در منطقه در آلو (درصد) [۱۰].

Rock type	Basalt	Andesite	Dacite	Rhyodacite		Q-Diorite
Nature	Altered	Altered	Altered	Altered		Altered
Sample	۱	۲	۳	Average (SD)	Range	۴
SiO ₂	۴۹٫۷۱	۵۴٫۳۳	۶۰٫۶۳	۷۱٫۶ (۲٫۱)	۷۰٫۰۲-۷۳	۶۰٫۰۵
TiO ₂	۰٫۷۹	۰٫۸۶	۰٫۸۸	۰٫۷ (۰٫۳)	۰٫۵-۰٫۹	۰٫۷۳
Al ₂ O ₃	۱۷٫۶۸	۱۵٫۲۴	۱۳٫۴۱	۱۷٫۴۳ (۱٫۷)	۱۶٫۲-۱۸٫۶	۱۷٫۱۲
Fe ₂ O ₃	۶٫۴۷	۸٫۸۰	۶٫۴۷	۰٫۹۸ (۰٫۹۷)	۰٫۱-۲۹٫۶	۱۰٫۲
FeO	۲٫۱۵	۴٫۱۲	۲٫۰۱	۰٫۶۳ (۰٫۳)	۰٫۴-۰٫۸۴	۲٫۵۸
MnO	۰٫۱۱	۰٫۱۶	۰٫۲۳	۰٫۱	۰٫۱	۰٫۰۷
MgO	۵٫۵۴	۵٫۳۰	۰٫۷۷	۰٫۳ (۰٫۳۶)	۰٫۴-۰٫۵۶	۰٫۲۷
CaO	۸٫۶۶	۵٫۷۸	۵٫۲۳	۰٫۱۷ (۰٫۰۵)	۰٫۱۳-۰٫۲۱	۰٫۲۵
Na ₂ O	۲٫۷۴	۱٫۹۶	۰٫۰۷	۱٫۲ (۱٫۳)	۰٫۲۸-۲٫۱	۱٫۷۵
K ₂ O	۰٫۱۸	۰٫۱۳	۰٫۳۲	۵٫۱۲ (۰٫۱۷)	۵-۲٫۲۴	۳٫۰۶
P ₂ O ₅	۰٫۱۵	۰٫۱۵	۰٫۱۱	۰٫۰۴ (۰٫۰۱)	۰٫۰-۰٫۳۰۵	۰٫۱۲
L.O.I	۳٫۷۵	۴٫۰۵	۱۰٫۲۶	۳٫۰۴ (۰٫۰۶)	۳-۳٫۰۸	۵٫۳۸
Total	۹۷٫۹۳	۱۰۰٫۸۸	۱۰۰٫۳۹	۱۰۰٫۱۸ (۰٫۲۵)	۱۰۰-۱۰۰٫۳	۱۰۱٫۵۵

جدول ۲- میانگین، تغییرات و انحراف معیار عناصر فرعی، کمیاب و خاص در منطقه در آلو (گرم بر تن) [۱۰].

Rock type	Basalt	Andesite	Dacite	Rhyodacite		Q-Diorite
Nature	Altered	Altered	Altered	Altered		Altered
Sample	۱	۲	۳	Average (SD)	Range	۴
Cu	۱۵۱٫۴	۱۷۰٫۹	۳۴۰	۷۵٫۳۵ (۴٫۳۱)	۷۲٫۳-۷۸٫۴	۱۳۳۳۳٫۳
Pb	---	۶۰٫۷	۶۵۵	۱۶٫۴۵ (۱۵٫۲)	۵٫۷-۲۷٫۲	۸٫۳
Zn	۹۳٫۸	۱۴۱٫۸	۱۴	۱۴٫۵ (۰٫۷۱)	۱۴-۱۵	۱۰۰
Cr	۱۰٫۹	۳۷٫۳	۲۳	۶٫۵ (۶٫۳۶)	۲-۱۱	۱۵
Ni	۶٫۷	۱	۱۶٫۲	۲٫۲ (۰٫۱۴)	۲٫۱-۲٫۳	۹٫۸
Co	۲۸٫۱	۲۲٫۲	۳۱٫۲	۰٫۸ (۰٫۵۷)	۰٫۴-۱٫۲	۲۳
Mo	۱٫۳	۱	۲٫۶۳	۳٫۴۴ (۴٫۲۴)	۰٫۶-۴۴٫۴۳	۲۶٫۸
Sn	۲٫۹	۳	۳٫۵	۱۳٫۲۷ (۱٫۴۶)	۱۲٫۲-۱۴٫۳	۱۱٫۴
W	---	---	۱٫۱	۲٫۸۵ (۰٫۷۸)	۲٫۳-۳٫۴	۱٫۷
V	---	۱۷۲٫۹	۱۶۲	۸۳ (۴۹٫۵)	۱۱۸-۴۸	۱۵۲
Cd	---	---	۰٫۷۳	۰٫۰۳۵ (۰٫۰۲)	۰٫۰-۰٫۲۰۵	۰٫۷۱
Sc	۲۷٫۴	۳٫۲۷	۲۵	۱۳٫۵ (۱۰٫۶۱)	۲۱-۶	۱۸
Ag	---	---	۱	۰٫۲۵ (۰٫۱۴)	۰٫۰-۱۵٫۳۵	۱٫۴۴
Au	---	---	۰٫۰۰۱	۰٫۰۰۲ (۰٫۰۰۲)	۰٫۰-۰٫۰۱۰۰۴	۰٫۰۳۴
As	---	---	۳۵٫۱	۷٫۹ (۶٫۶)	۳٫۱۲-۲٫۶	۳۰٫۵
Sb	---	---	۳٫۰۳	۲٫۵۵ (۰٫۵)	۲٫۲-۵٫۶	۴٫۱۶
Bi	۴۹٫۷۱	۵۴٫۳۳	۶۰٫۶۳	۷۱٫۶ (۲٫۱)	۷۰٫۷۳-۰٫۲	۶۰٫۰۵
In	۰٫۷۹	۰٫۸۶	۰٫۸۸	۰٫۷ (۰٫۳)	۰٫۰-۵٫۹	۰٫۷۳
Yb	۱۷٫۶۸	۱۵٫۲۴	۱۳٫۴۱	۱۷٫۴۳ (۱٫۷)	۱۶٫۱۸-۲٫۶	۱۷٫۱۲
Y	۶٫۴۷	۸٫۸۰	۶٫۴۷	۰٫۹۸ (۰٫۹۷)	۰٫۲۹-۱٫۶	۱۰٫۲

ارتفاع ۲۹۵۰ متری بود که محاسبه متوسط عیار عناصر مختلف به ازای هر ۲۵ متر افزایش عمق در کل چاه‌ها انجام گرفت. با توجه به مقادیر بدست آمده برای هر عنصر و محاسبه قدرت تولید خطی ردیف زونالیده برای عناصر موجود محاسبه شد. همچنین نمودار روند تغییرات شاخص‌های منطقه‌بندی مختلف از سطح به عمق در توده معدنی مورد نظر با یکدیگر مقایسه شد.

۳- بحث و نتایج

متوسط‌گیری مقدار عیار عناصر در هر افق (فواصل افق‌ها ۲۵ متر است) محاسبه شد و متوسط عیار عناصر به ازای هر ۵۰ متر افزایش عمق در جدول ۳ نمایش داده شده است. در هنگام محاسبه عیار متوسط هر یک از عناصر، ملاک متوسط‌گیری در افق ای مختلف عیار حد ۰/۲ درصد برای مس در نظر گرفته شد و مقادیر زیر این مقدار حذف شد. بنابراین هاله‌های محلی مس با شدت بالای ۰/۲ درصد موقعیت توده مس پورفیری را نشان می‌دهد. از آن جایی که بهتر است برای مطالعه منطقه‌بندی هاله در مقاطع عرضی از قدرت تولید خطی عناصر به جای مقدار میانگین عناصر موجود استفاده شود، در نتیجه مقدار قدرت تولید خطی هر یک از عناصر در هر یک از افق‌ها محاسبه شد و سپس با استفاده از ضریب نرمال‌سازی، شاخص‌های زونالیده مختلف محاسبه و ردیف زونالیده در فاصله ۲۹۵۰ تا ۲۵۵۰ متری به صورت زیر بدست آمد:

از سطح کانسار به عمق کانسار (از راست به چپ):

Mo- (V, Co)- Au- Ag- Ni- Pb- As- Sb- Cu- (Zn, Cd, Mn)

مقدار قدرت تولید خطی عنصر مس، سرب، روی و مولیبدن نسبت به ارتفاع در شکل ۴ نشان داده شده است. همچنین جدول ۴ بیشترین ارتفاع مطلق را که بیشترین قدرت تولید خطی هر عنصر در آن قرار گرفته است نشان می‌دهد. با توجه به ردیف زونالیده بدست آمده در این کانسار، بیشترین تمرکز عنصر مولیبدن در پایین‌ترین قسمت کانسار قرار گرفته است و عناصر روی، کادمیوم و منگنز در قسمت‌های سطحی کانسار بیشترین تمرکز را دارند. به طور کلی سری‌های زون‌بندی محوری برای نهشته‌های هیدروترمال سولفیدی از پایین به بالا به صورت زیر بیان می‌شود [۳]:

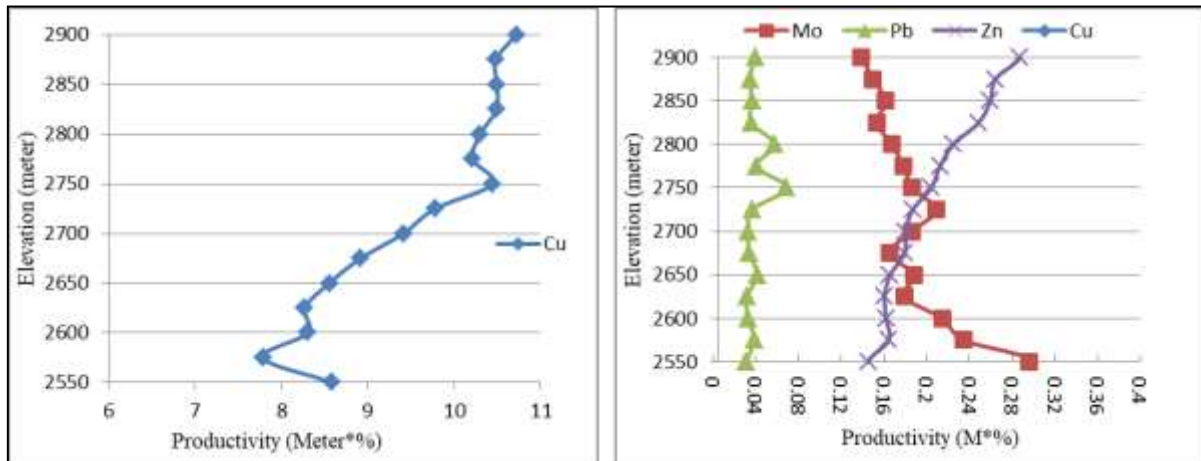
W- Be- As₁- Sn- Au₁- U- Mo- Co- Ni- Bi- Au₂- Cu- Zn- Pb- Ag- Hg- As₂- Sb- Ba- I, Br

- رگه‌های با ترکیبات کوارتز، کالکوپیریت، مگنتیت و پیریت و مقدار کمی بورنیت و مولیبدنیت.
- رگه‌های شامل کالکوپیریت (کانی اصلی تشکیل‌دهنده کانسار درآلو)، پیریت و کوارتز با مقدار بسیار اندکی مولیبدنیت.
- رگه‌های دارای کوارتز و پیریت و مقادیر اندکی کالکوپیریت.

در این نهشته زون سوپرژن بسیار ضعیف و غالباً با زون اکسیده پوشیده شده و در نهایت زون گوسان در منطقه به طور کامل شکل نگرفته است [۷][۲۸]. میزان ذخیره اقتصادی تخمین زده شده توسط شرکت ملی صنایع مس ایران برای کانسار درآلو تا سال ۱۳۹۸، ۲۹۴ میلیون تن با متوسط عیار مس ۰/۳۵ درصد است. مقدار متوسط مولیبدن در محدوده اصلی کانسار (محدوده کانی‌زایی) ۵۷ گرم بر تن و در محدوده اکسید بالا (قسمت بالایی کانسار با ضخامت حدود ۴۰ متر) ۴۲ گرم بر تن است. متوسط عیار نقره برابر با ۱ ppm و بیشترین عیار طلا که مربوط به محدوده کانی‌زایی و هایپوژن کانسار است در حد اقتصادی نیست [۸].

۲- مواد و روش انجام کار

حفاری‌های انجام شده در کانسار مس درآلو در قالب شبکه ۵۰ × ۵۰ متر در قسمت‌های مربوط به هاله اولیه و توده معدنی انجام شده که متراژ حفاری‌ها در چاه‌های مختلف متغیر و ماکزیمم تا عمق ۵۰۰ متر انجام گرفته است. نمونه‌برداری از ۱۲۲ مغزه حفاری به ازای هر ۲ متر افزایش عمق انجام شده و مجموعاً ۲۵۶۹۰ نمونه برداشت شده که مورد تجزیه شیمیایی قرار گرفته است. هدف از این مطالعه تعیین عیار متوسط عناصر در افق‌های مختلف و بررسی روند تغییرات عناصر از سطح به عمق، همچنین مقایسه شاخص‌های منطقه‌بندی مختلف در توده معدنی درآلو در تعیین عمق کانسار است. آنالیز شیمیایی ۳۲ عنصر اصلی، فرعی و کمیاب نمونه‌های گرفته شده از مغزه‌های حفاری به روش پلاسما جفت شده القایی- اسپکترومتری جرمی (ICP-MS) در آزمایشگاه تجزیه مواد معدنی زرآما استان کرمان انجام گرفت که در این تحقیق برای انجام مطالعات ژئوشیمیایی و محاسبه شاخص‌های منطقه‌بندی از ۱۳ عنصر استفاده شد. بالاترین افق نمونه‌گیری مربوط به



شکل ۴- قدرت تولید خطی (متر* درصد) عناصر مس، مولیبدن، سرب و روی در افق‌های مختلف کانسار مس پورفیری در آلو.

جدول ۳- عیار متوسط عناصر فرعی و کمیاب در افق‌های مختلف معدن مس پورفیری در آلو (گرم بر تن).

Elevation (m)	۲۹۰۰	۲۸۵۰	۲۸۰۰	۲۷۵۰	۲۷۰۰	۲۶۵۰	۲۶۰۰	۲۵۵۰
AU	۰/۰۰۰	۰/۰۳۱۷	۰/۰۳۶۸	۰/۰۳۷۳	۰/۰۳۶۴	۰/۰۳۰۱	۰/۰۲۰۷	۰/۰۴۵۰
Ag	۰/۸۸	۱/۰۶	۱/۱۳	۱/۱۷	۱/۰۷	۰/۹۳	۱/۱۷	۱/۰۵
As	۹۶/۰۳	۱۲۴/۸۱	۱۳۲/۵۱	۱۲۷/۲۳	۹۰/۳۳	۴۸/۴۰	۴۳/۳۴	۶۸/۴۳
Cd	۰/۷۴	۰/۶۳	۰/۶۴	۰/۷۶	۰/۵۰	۰/۳۸	۰/۳۷	۰/۴۹
Ce	۲۷/۵۷	۲۳/۳۷	۲۲/۴۴	۱۹/۴۴	۲۰/۸۱	۲۰/۰۲	۱۸/۸۵	۲۲/۲۶
Co	۲۰/۱۲	۱۹/۶۲	۱۸/۰۲	۱۹/۰۹	۱۸/۳۴	۱۶/۳۳	۱۹/۹۳	۱۹/۸۰
Cr	۱۰/۴۰	۱۱/۹۰	۱۲/۸۲	۱۳/۱۳	۱۴/۸۸	۱۵/۳۳	۱۵/۵۰	۲۱/۸۴
Cu	۴۲۸۸/۹۷	۴۱۹۸/۹۳	۴۱۲۱/۴۹	۴۱۷۹/۱۴	۳۷۶۵/۸۹	۳۴۲۲/۷۲	۳۳۲۲/۹۰	۳۴۴۵/۹۹
La	۱۵/۶۴	۱۲/۸۷	۱۲/۵۳	۱۱/۸۵	۱۱/۷۵	۱۰/۹۱	۱۱/۰۶	۱۲/۱۱
Li	۱۶/۱۴	۱۴/۹۴	۱۴/۸۰	۱۵/۶۷	۱۵/۰۷	۱۵/۰۶	۱۳/۶۱	۱۲/۹۷
Mn	۵۹۶/۵۰	۵۳۲/۸۲	۴۵۶/۰۳	۳۵۸/۴۵	۳۴۹/۴۲	۳۳۲/۳۸	۳۳۲/۸۰	۲۶۸/۱۹
Mo	۵۵/۳۷	۶۴/۶۶	۶۶/۸۳	۷۴/۵۰	۷۴/۳۹	۷۵/۲۴	۸۵/۷۶	۱۱۸/۱۸
Ni	۹/۰۴	۹/۰۰	۸/۹۱	۱۰/۵۶	۱۰/۶۲	۱۱/۰۲	۱۰/۰۵	۱۰/۶۹
Pb	۱۶/۱۱	۱۴/۶۵	۲۳/۱۲	۲۷/۵۵	۱۳/۳۶	۱۶/۶۵	۱۳/۱۷	۱۲/۵۲
Sb	۵۳/۸۸	۴۸/۱۲	۳۸/۲۸	۲۱/۵۳	۲۱/۹۱	۱۲/۹۵	۱۴/۱۷	۱۸/۵۳
Sc	۱۳/۴۶	۱۱/۴۶	۱۰/۹۳	۱۰/۵۷	۱۲/۵۱	۱۰/۹۶	۱۳/۳۲	۱۲/۶۴
Th	۷/۲۹	۸/۱۴	۷/۹۰	۷/۹۴	۷/۸۲	۸/۳۷	۹/۶۲	۹/۵۴
V	۷۹/۹۰	۷۴/۵۱	۷۱/۶۷	۸۱/۴۳	۸۳/۶۶	۸۰/۴۸	۹۹/۷۵	۹۳/۶۷
Y	۲۷/۲۳	۲۰/۱۲	۱۹/۱۱	۱۶/۷۶	۱۸/۴۸	۱۸/۶۸	۲۱/۱۰	۱۹/۷۹
Yb	۱/۹۷	۱/۵۸	۱/۶۱	۱/۴۰	۱/۶۳	۱/۸۳	۲/۳۱	۲/۳۳
Zn	۱۱۴/۹۲	۱۰۳/۸۰	۸۹/۹۵	۸۱/۶۴	۷۲/۱۳	۶۶/۲۹	۶۴/۸۰	۵۸/۱۷
Rb	۱۳/۳۴	۹/۶۶	۲۱/۳۸	۲۱/۵۹	۱۰/۳۱	۸/۷۲	۷/۶۶	۷/۸۱

جدول ۴- افق مربوط به بیشترین مقدار قدرت تولید خطی هر یک از عناصر در کانسار مس پورفیری در آلو.

Element	AU	Ag	As	Cd	Co	Cu	Mn	Mo	Ni	Pb	Sb	V	Zn
Elevation (meter)	۲۵۷۵	۲۶۰۰	۲۷۷۵	۲۹۲۵	۲۶۰۰	۲۹۰۰	۲۹۲۵	۲۵۵۰	۲۶۷۵	۲۷۵۰	۲۸۷۵	۲۵۷۵	۲۹۲۵

تقریباً از افق ۲۹۸۰ متری نمایان شده است. عناصر سیدروفیلی مانند کروم، نیکل و وانادیوم در این توده در اثر دگرسانی از داخل توده معدنی شسته شده است و در نتیجه از خود ته‌شدگی نشان می‌دهند و یا به حد مقدار زمینه رسیده است که این مورد از مقایسه مقدار متوسط این عناصر در جدول ۲ و ۳ مربوط به توده معدنی و سنگ‌های اطراف کانسار مشخص می‌شود. از طرفی همین اتفاق برای عنصر روی نیز رخ داده است و در اثر دگرسانی از بخش‌های میانی کانسار شسته شده و به افق‌های بالا منتقل شده است. این حالت در کانسارهای مس پورفیری سونگون و دره‌زار نیز رخ داده است [۶]. با توجه به شباهت زیاد عنصر روی و کادمیوم و قابلیت جانشینی این دو عنصر با یکدیگر، از نظر بیشترین تمرکز در یک افق قرار گرفته‌اند. ماکزیمم تمرکز طلا در این کانسار مربوط به افق‌های تحت کانساری (۲۵۷۵ متری) می‌شود که مقدار متوسط آن از مقدار متوسط طلا در کانسارهای مس سرچشمه، میدوک، دره زار و سرکوه کمتر است [۲۹]. در شاخص‌های زونالیت، شاخصی که رفتار صعودی یا نزولی داشته باشد می‌تواند معیار مناسبی برای بررسی موقعیت و سطح فرسایش کانسار باشد. مقدار کمینه، بیشینه و متوسط شاخص‌های زونالیت مختلف در توده معدنی درآلو در جدول ۵ آورده شده است.

در شناسایی کانسارهای مس پورفیری در مقیاس میدان معدنی (۱/۵۰۰۰) هاله عنصر مولیبدن و مس تقریباً بر هم منطبق‌اند اما در مقیاس کانسار معدنی (اکتشافات تفصیلی برای مشخص کردن توده معدنی) ضریب همبستگی بین این دو عنصر ضعیف می‌شود و معمولاً مولیبدن در عمق بیشتری نسبت به مس در داخل کانسار رسوب می‌کند که علت آن تفاوت در ویژگی‌های مهاجرت این دو عنصر است. البته حالت‌های عکس هم دیده شده است. به عنوان مثال در کانسارهای آکتاگای و آیدارلی، هاله‌های مولیبدن مناطق بالاتر و خارجی‌تر نسبت به مس را اشغال کرده است [۱۶]. در این کانسار نیز چون نمونه‌ها مربوط به ناحیه هاله اولیه و توده معدنی می‌شود، عنصر مولیبدن در عمق بیشتری نسبت به مس متمرکز شده است. در ردیف زونالیت کانسارهای هیدروترمال قاعدتا مس در میانه ردیف جای می‌گیرد اما در این کانسار این عنصر افق‌های بالایی (۲۹۰۰ متر) را اشغال کرده است. احتمالاً هاله‌های فوق کانساری در اثر هوازدگی شسته شده و از بین رفته و توده معدنی در سطح بالایی قرار گرفته است.

مشاهدات صحرائی نیز حاکی از آن است که توده معدنی در عمق کم واقع شده است به طوری که در ارتفاع ۲۸۸۰ متری آثاری از دگرسانی پتاسیک به چشم می‌خورد و دگرسانی فیلیکی رو به اتمام است. در این کانسار زون فیلیکی


جدول ۵- مقدار میانگین، کمترین، بیشترین و انحراف معیار شاخص‌های منطقه‌بندی در افق‌های مختلف کانسار مس پورفیری درآلو

Zonality index	minimum	maximum	average	SD
Cu/Mo	۲۹,۰۷	۹۷,۵۳	۵۷,۶۹	۱۷,۵
Pb*Zn/Cu*Mo	۰,۰۰۲	۰,۰۲۲	۰,۰۰۶	۰,۰۰۵
Ag/Au	۱۳,۳۱۹	۵۶,۷۰۷	۳۴,۵۴	۹,۹۳
Pb*Zn/Cu*Ag	۰,۲۰۲	۱,۱۱۸	۰,۳۳۹	۰,۲۳
Ag*Au/Cu*Mo	$۸,۳۷ \times ۱۰^{-۸}$	$۲,۴۶ \times ۱۰^{-۷}$	$۱,۲۶ \times ۱۰^{-۷}$	$۳,۹۷ \times ۱۰^{-۸}$
Au/Cu	$۵,۳۶ \times ۱۰^{-۶}$	$۲,۳۶ \times ۱۰^{-۵}$	$۹,۲۵ \times ۱۰^{-۶}$	$۴,۳۷ \times ۱۰^{-۶}$

افزایش عمق کاربرد چندانی در زمینه مشخص کردن موقعیت توده معدنی و تخمین عمق کانسار ندارند. یکی از دلایلی که نسبت Cu/Mo روند کاهشی واضحی نسبت به عمق از خود نشان می‌دهد این است که مس و مولیبدن دقیقاً در دو سر ردیف زونالیت قرار گرفته‌اند. شاخص $(Zn \times Pb)/(Cu \times Mo)$ معتبرترین شاخص زونالیت برای کانسارهای مس پورفیری دنیا است و مقادیر عددی آن به صورت کامل مورد مطالعه قرار گرفته و از روی آن کانسار مس پورفیری مدل‌سازی شده است (شکل ۵). این شاخص

از میان شاخص‌های منطقه‌بندی که در کانسار مس پورفیری درآلو رسم شد، شاخص Cu/Mo نسبت به شاخص‌های دیگر رفتار قانونمندتری را از خود نشان می‌دهد (شکل B-۵) و با افزایش عمق این شاخص کاهش پیدا می‌کند. بعد از آن شاخص منطقه‌بندی $(Pb)(Zn)/(Cu)(Mo)$ رفتار مشابه Cu/Mo از خود نشان می‌دهد (شکل A-۶) که در مجموع از سطح به عمق روند کاهشی دارند. شاخص‌های منطقه‌بندی دیگر در کانسار درآلو به علت رفتار افزایش-کاهش (حالت مضرسی) با

Erosional surface	Vertical section	$Vz_1 = \frac{Zn * Pb}{Cu * Ag}$	$Vz_2 = \frac{Zn * Pb}{Cu * Mo}$	$Vz_3 = \frac{Zn * Pb * Bi}{Cu * Mo * Ag}$
		Supra-ore	I	>100
Upper ore	II	100 - 10	5 - 0.5	1 - 0.1
Ore	III	10 - 1	0.5 - 0.05	0.1 - 0.01
Ore	IV	1 - 0.1	0.05 - 0.005	0.01 - 0.001
Lower ore	V	0.1 - 0.01	0.005 - 0.0005	0.001 - 0.0001
Sub-ore	VI	<0.01	<0.0005	<0.0001
	Contrast Vz(I)/Vz(VI)	10,000	10,000	10,000

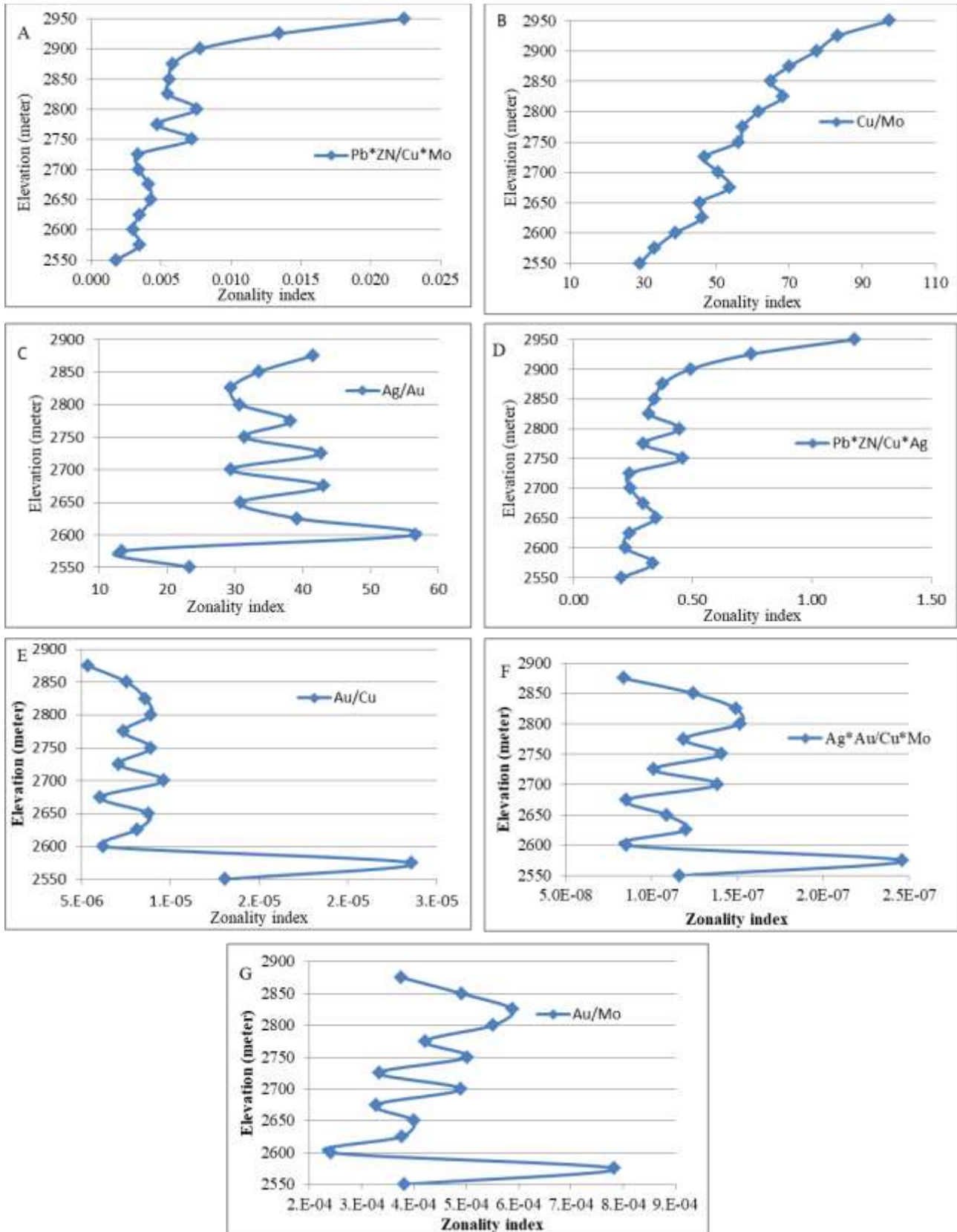


شکل ۵- مدل منطقه‌بندی قائم در کانسارهای مس پورفیری بر اساس کانسارهای مس پورفیری استاندارد در قزاقستان، بلغارستان، ارمنستان و ایران [۳۴].

است و نشانه‌ای از هاله فوق کانساری دیده نمی‌شود.

نسبت معرف $(Ag)(Au)/(Cu)(Mo)$ در کانسارهای مس، مس-مولیبدن و مس-طلای پورفیری باید با کاهش عمق سازند روند این نسبت افزایش پیدا کند. به همین دلیل است که عناصر طلا و نقره می‌توانند در هاله‌های فوق کانساری برای اکتشاف کانسارهای پنهان حایز اهمیت‌اند [۱۵]. اما در این کانسار عنصر طلا و نقره در هاله تحت کانساری قرار گرفته است و این نسبت به همراه نسبت‌های Ag/Au ، Au/Cu ، Au/Mo از روند قانون‌مندی پیروی نمی‌کند (شکل ۶). با توجه به عیار بسیار پایین عنصر طلا در افق‌های بیشتر از ۲۹۰۰ شاخص‌های بالا از افق ۲۹۰۰ رسم شده‌اند. طبق مطالعات شفيعی و شهاب‌پور، در کانسارهای مس پورفیری، همبستگی ضعیفی بین عنصر طلا و مس یا طلا و مولیبدن دیده می‌شود که علت آن ذوب بخشی سنگ‌های پوسته پایینی در قسمت‌های ضخیم قاره‌ای است. این حالت بیشتر مربوط به شرایط دمایی کم (کمتر از ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد) و فوگاسیته پایین اکسیژن در زمان تشکیل اولیه از سیال ماگمایی است. به نظر می‌رسد در این شرایط طلا انحلال‌پذیری کمتری نسبت به شرایط با دمای بالاتر (۷۰۰ درجه سانتی‌گراد) و سیالات با اکسیژن بیشتر که باعث ایجاد نهشته‌های مس غنی از طلا می‌شود، دارد [۲۹]. شفيعی و شهاب‌پور، نسبت Cu/AU را بیشتر از ۴۰۰۰ و نسبت Au/Mo را زیر ۳۰ در اکثر نهشته‌های مس پورفیری منطقه کرمان محاسبه کرده‌اند که با نتایج این تحقیق کاملا منطبق است (شکل ۶-G). همچنین نشان داده‌اند که همبستگی مثبت قوی بین طلا و منیتیت در کانسارهای مس پورفیری ناحیه کرمان وجود دارد که در این تحقیق نتایج آنالیز منیتیت در دسترس نیست.

در کانسارهای مختلف مس پورفیری در قزاقستان، بلغارستان، آمریکا و ایران بخش توده معدنی را بین ۰/۰۵ تا ۰/۵ نشان می‌دهد و مقادیر کمتر و بیشتر از این بازه را در محدوده ناحیه تحت کانساری و فوق کانساری نشان می‌دهد. اگر کانسار مس پورفیری در آلو با این مقادیر عددی مقایسه شود، مشخص می‌شود که افق ۲۹۵۰ حتی بالاتر تا ۲۷۵۰ متری محدوده توده معدنی و از ۲۷۵۰ متر به پایین هاله تحت کانساری آغاز خواهد شد و تمرکز عناصر نقره، طلا و مولیبدن در این قسمت تحت کانساری بیشتر می‌شود. شاخص زونالیت Cu/Mo به عنوان یکی از بهترین شاخص‌های منطقه‌بندی در توده‌های معدنی مس-مولیبدن پورفیری، از مقدار ۱۰۰ در بالاترین افق‌ها شروع شده است و تا حدود ۱۵ در پایین‌ترین سطح کاهش می‌یابد [۱۹]. به عنوان مثال این شاخص در کانسار مس پورفیری دره‌زار از ۱۶۰ شروع شده و با افزایش عمق به مقدار ۳۰ کاهش پیدا می‌کند [۶]. در کانسار مس پورفیری در آلو نیز این شاخص در عمق ۲۵۵۰ متری به عدد ۳۰ رسیده است که با نتایج به دست آمده از شاخص $(Pb)(Zn)/(Cu)(Mo)$ منطبق است اما با در نظر گرفتن مقدار ۱۵ برای شاخص Cu/Mo عمق نهایی هاله‌های تحت کانساری در آلو را می‌توان تا ارتفاع ۲۴۲۵ تخمین زد. در محدوده عمقی ۲۹۵۰ تا ۲۵۵۰ متر مقدار شاخص زونالیت $(Zn \times Pb)/(Cu \times Ag)$ بین ۰/۵ تا ۰/۲ با انحراف معیار ۰/۰۸۷ است که با توجه به مقادیر استاندارد کانسارهای مس پورفیری این عمق بر محدوده توده معدنی منطبق است و عمق‌های بیشتر از ۲۵۵۰ متر را به عنوان تحت کانساری نشان می‌دهد. تغییرات این شاخص در این گستره تقریباً ثابت و به مقدار ناچیزی نوسان دارد. تقریباً هر سه شاخص متمرکز بر توده معدنی و هاله تحت کانساری



شکل ۶- نمودار شاخص‌های منطقه‌بندی مختلف نسبت به عمق در کانسار مس پورفیری درآلو.

۴- نتیجه‌گیری

مقدار متوسط ۳۲ عنصر در کانسار مس پورفیری در آلو به ازای هر ۲۵ متر افزایش عمق در کل محدوده کانسار محاسبه شد و ردیف زونالیتة Mo- (V, Co)- Au- Ag- Ni- Pb- As- Sb- Cu- (Zn, Cd, Mn) بدست آمد. شاخص‌های منطقه‌بندی رایج در تشخیص موقعیت کانسار و عمق توده معدنی در کانسارهای مس پورفیری جهان در این منطقه با یکدیگر مقایسه شد. شاخص منطقه‌بندی Cu/Mo در وهله اول و بعد از آن نسبت‌های (Zn)(Pb)/(Cu)(Mo) و (Pb)(Zn)/(Cu)(Ag) از بهترین شاخص‌های زونالیتة معرفی بودند که بر موقعیت قرارگیری کانسار منطبق شدند و نشان دادند که توده معدنی از افق‌های ۲۹۵۰ تا ۲۷۵۰ متری در محدوده توده معدنی اصلی و هاله‌های تحت کانساری تا ارتفاع مطلق ۲۴۲۵ متری ادامه دارد. این نسبت‌ها با افزایش عمق روند کاهشی از خود نشان می‌دهند. همچنین با توجه به ردیف زونالیتة و مقادیر عددی شاخص‌های منطقه‌بندی کانسار شامل توده معدنی و هاله‌های تحت کانساری است و احتمالاً هاله‌های فوق کانساری شسته شده و از بین رفته‌اند.

منابع

دره زار و اکتشاف ژئوشیمیایی تفصیلی بر روی این کانسار»، دانشگاه شهید باهنر کرمان، بخش مهندسی معدن، ۳۳۶ ص.

۷. زرناب اکتشاف؛ ۱۳۸۸؛ «گزارش مطالعات زمین‌شناسی و آلتراسیون محدوده در آلو در مقیاس: ۱/۱۰۰۰»، سازمان توسعه و نوسازی معادن و صنایع معدنی ایران، شرکت ملی صنایع مس ایران، ۸۸ ص.

۸. شرکت مشاور کیان معدن پارس و سازه‌پردازی ایران؛ ۱۳۹۸؛ «گزارش مدل‌سازی و تخمین ذخیره معدن مس در آلو با استفاده از ۱۵۲ گمانه اکتشافی»، شرکت ملی صنایع مس ایران، ۱۰۹ ص.

۹. صالحیان، م.؛ ۱۳۸۹؛ «مطالعات کانی‌شناسی، ژئوشیمی و سیالات درگیر کانسار مس پورفیری در آلو، جنوب کرمان»، پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده علوم پایه، ۲۲۲ ص.

۱۰. عطاپور، ح.؛ ۱۳۸۶؛ «تکوین ژئوشیمیایی و متالورژی سنگ‌های آذرین پتاسیم‌دار در کمر بند آتشفشانی - نفوذی - دهج - ساردوییه، استان کرمان با نگرشی ویژه به عناصر خاص»، پایان‌نامه دکتری دانشگاه شهید باهنر کرمان، بخش زمین‌شناسی، ۴۰۲ ص.

۱۱. فیضی، ف.؛ و حقیقی بردینه، ا.؛ ۱۳۹۰؛ «مطالعات پتروگرافی، دگرسانی، کانه‌زایی و تعیین پاراژنز در کانسار مس در آلو (استان کرمان)»، شماره ۲۱، دوره ۶، ۱۵۰-۱۶۰.

۱۲. کوثری، س.؛ ۱۳۷۵؛ «اکتشافات ژئوشیمیایی کانسار در آلو»، سازمان زمین‌شناسی کشور، ۱۳۵-۱۴۵.

13. Aliyari, F.; Afzal, P.; Lotfi, M.; Shokri, S.; and Feizi, H.; 2020; "Delineation of geochemical haloes using the developed zonality index model by multivariate and fractal analysis in the Cu-Mo porphyry deposits", Applied Geochemistry, 121, 104694.

14. Asadi, S.; Moore, F.; and Zarasvandi, A.; 2014; "Discriminating productive and barren porphyry copper deposits in the southeastern part of the central Iranian volcano-plutonic belt, Kerman region, Iran: A review", Earth-

۱. اسکویی، ر.؛ ۱۳۷۴؛ «مطالعه ژئوفیزیکی کانسار مس در آلو»، ۱۲۰ ص.

۲. تقی‌پور، ن.؛ آفتابی، ع.؛ رضانی، م. ر.؛ ۱۳۸۸؛ «بررسی هاله ای دگرسانی - کانی‌زایی و الگوی پراکندگی مس، مولیبدن، طلا و نقره در کانسار مس پورفیری میدوک، شهر بابک، کرمان»، مجله علوم زمین، شماره ۷۲، ۴۵-۵۴.

۳. حسنی پاک، علی‌اصغر؛ ۱۳۸۶؛ «اصول اکتشافات ژئوشیمیایی»، انتشارات و چاپ دانشگاه تهران، ۶۱۵ ص.

۴. حیدریان، ف.؛ ۱۳۸۲؛ «بررسی آماری داده‌های زمین-شیمیایی در کانسار مس پورفیری در آلو»، مجله علوم و فنون هسته‌ای، شماره ۲۸، ۴۳-۴۹.

۵. درگاهی، س.؛ سروری‌زاده، م.؛ و آروین، م.؛ ۱۳۹۹؛ «پراکندگی و توزیع عناصر کمیاب و کانساری در کانسار رگه‌ای چاه مسی، شمال شهر بابک»، مجله زمین‌شناسی اقتصادی، جلد ۱۲، شماره ۳، ۳۴۱-۳۵۸.

۶. رحیمی‌پور، غ. ر.؛ ۱۳۸۴؛ «طرح ارزیابی ذخیره اکسیدی و سولفیدی کم عیار کانسار مس پورفیری

25. Murakami, H.; Seo, J. H.; and Heinrich, C. A.; 2010; “*The relation between Cu/Au ratio and formation depth of porphyry-style Cu–Au±Mo deposits*”, *Mineralium Deposita*, 45(1), 11-21.
26. Nurmi, P.A.; 1985; “*Litho geochemistry in exploration for Proterozoic porphyry- type molybdenum and copper deposits*”, *Journal of Geochemical Exploration*, 23, 163-191.
27. Rose, W.R.; Hawkes, H.E.; and Webb, J.S.; 1979; “*Geochemistry in mineral exploration*”, Academic press, 657 p.
28. Salehian, M.; and Ghaderi, M.; 2010; “*Alteration and Mineralization at Daralu Porphyry Copper Deposit, South of Kerman, Southeast Iran*”, The 1st International Applied Geological Congress, Department of Geology, Islamic Azad University- Mashad Branch, Iran, 26-28.
29. Shafiei, B.; and Shahabpour, J.; 2008; “*Gold Distribution in Porphyry Copper Deposits of Kerman Region, Southeastern Iran*” *Journal of Sciences Islamic Republic of Iran*, 19(3), 247-260.
30. Sojdehee, M.; Rasa, I.; Nezafati, N.; Abedini, M. V.; Madani, N.; and Zeinedini, E.; 2015; “*Probabilistic modeling of mineralized zones in Daralu copper deposit (SE Iran) using sequential indicator simulation*” *Arabian Journal of Geosciences*, 8(10), 8449-8459.
31. Xunde, H.; and Dingyuan, Zh.; 1989; “*Geochemical zoning pattern of the Yinyan tin deposit*”, *Journal of Geochemical Exploration*, 33, 109-119.
32. Yinggui, L.; Hangxin, Ch.; Xuedong, Y.; and Waisheng, X.; 1995; “*Geochemical exploration for concealed nickel-copper deposits*”, *Journal of Geochemical Exploration*, 55, 309-320.
33. Yongqing, Ch; Jingning, H; and Zhen, L.; 2008; “*Geochemical characteristics and zonation of primary halos of Pulang porphyry copper deposit, northwestern Yunnan Province, Southwestern China*” *Journal of China University of Geosciences*, 19 (4), 371–377.
34. Ziaili, M.; Carranza, E. J. M.; and Ziaei, M.; 2011; “*Application of geochemical zonality coefficients in mineral prospectivity mapping*”, *Computers & geosciences*, 37(12), 1935-1945.
15. Atapour, H.; 2017; “*The Exploration Significance of Ag/Au, Au/Cu, Cu/Mo, (Ag×Au)/(Cu×Mo) Ratios, Supra-ore and Sub-ore Halos and Fluid Inclusions in Porphyry Deposits: A Review*” *Journal of Sciences, Islamic Republic of Iran* 28(2), 133 – 146.
16. “*Atlas of geochemical standards: residual dispersion halos of precious, rare and base metal deposits*”, 1992, MOCKBA, p.87. (in Russian)
17. Beus, A.A.; and Grigorian, S.V.; 1977; “*Geochemical Exploration Methods for Mineral Deposits*”, Applied Publishing Ltd., USA, 31-270.
18. Charter and IDRO; 1971; “*Maps Kerman*”, Geol, Surv. Iran, Yugoslav Institutes.
19. Institute of mineralogy, geochemistry and crystal chemistry of rare element (IMGERE); 1989; “*Methodic recommendation of applying litho geochemical methods in exploration, evaluation and estimatin of Cu- porphyry deposits*”, MOCKBA. (in Russian)
20. Grigoryan, S.V.; 1974; “*Primary geochemical halos in prospecting and exploration of hydrothermal deposits*”, *International Geology Review*, 16:1, 12-25.
21. Harraz, H.Z.; 1995; “*Primary geochemical haloes, El Sid gold mine, Eastern Desert, Egypt*”, *Journal of African Earth Sciences*, 20 (1), 61-71.
22. Harraz, H.Z.; Hamdy, M.M.; 2015, “*Zonation of primary haloes of Atud auriferous quartz vein depos it, Central Eastern Desert of Egypt: A potential exploration model targeting for hidden mesothermal gold deposits*”, *Journal of African Earth Sciences*, 101, 1-18.
23. Hosseini, S.T.; Asghari, O.; and Ghavami Riab, S.R.; 2018; “*Spatial modelling of zonality elements based on compositional nature of geochemical data using geostatistical approach: a case study of Baghqloom area, Iran*”, *Journal of Mining & Environment*, 9 (1), 153-167.
24. Li, H.; Wang, Z.N.; and Li, F.G.; 1995; “*Ideal models of superimposed primary halos in hydrothermal gold deposits*”, *Journal of geochemical exploration*, 55, 329–336.