



## استفاده از روش‌های آمار انفصال و تحلیل‌های عاملی و خوشه‌ای برای بررسی رفتار زمین-شیمیایی نقره در کانی‌زاپی مس-مولیبدن پورفیری حراران، استان کرمان

سمیه عباس‌زاده، امیرحسین کوهساری\*

دانشکده مهندسی معدن و متالورژی دانشگاه یزد، یزد، ایران

(دریافت مقاله: ۹۶/۹/۲۰، نسخه نهایی: ۹۷/۲/۴)

چکیده: یکی از منابع نقره، ذخایر مس-مولیبدن پورفیری است که در آن عنصر نقره به صورت جانبی تولید می‌شود. در این مطالعه رفتار زمین‌شیمیایی عنصر نقره در منطقه حراران برپایه نتایج تجزیه ۶۰۷ نمونه سنگ‌زمین‌شیمیایی برای عناصر W, Zn, Ag, As, Ba, Co Cu, Mo, Pb, Sb, Sn, Sr, Bi بررسی شد. این ذخیره که در جنوب شرق ایران واقع شده، دارای کانی‌زاپی مس-مولیبدن پورفیری است. از روش‌های آمار انفصال و تحلیل چندمتغیره برای شناسایی نواحی دارای بی‌هنجری نقره و عناصر همراه استفاده شد. بررسی نقشه‌های نواحی بی‌هنجر به دست آمده با استفاده از روش آمار انفصال نشان داد که نواحی بی‌هنجر عناصر نقره، مس، سرب و روی تقریباً همپوشی دارند. نمودار درختی به دست آمده از تحلیل خوشه‌ای سلسله مراتبی نشان داد که عناصر نقره و مس همبستگی داشته و در یک گروه قرار گرفته‌اند. علاوه برآن، نتایج تحلیل عاملی نیز نشان داد که عامل سوم شامل عناصر نقره و مس با بالاترین مقدار ویژه است. سرانجام رفتار دوگانه نقره یعنی همراهی با مس به خاطر قرار گرفتن در شبکه کانی‌های مس‌دار مانند کالکوپیریت و بورنیت از یک طرف و همراهی با عناصر سرب به خاطر قرار گرفتن در شبکه گالن از سوی دیگر با روش‌های آمار انفصال و تحلیل‌های چند متغیره ثابت شد.

واژه‌های کلیدی: رفتار عنصر نقره، آمار انفصال، تحلیل عاملی، تحلیل خوشه‌ای سلسله مراتبی.

عنصر در کانی‌های گالن، تترائیدریت، کالکوپیریت، پیریت و اسفالریت به صورت میانبار یا جانشینی در شبکه بلوری کانی میزبان دیده می‌شود [۱]. نقره به عنوان عنصر جانبی در کانی‌های سرب یا مس دیده می‌شود و کانی‌های گالن و کالکوپیریت میزبان‌های اصلی این عنصر به شمار می‌روند [۳].

در ساختار کانی گالن، این عنصر به همراه عناصر آنتیموان، بیسموت و آرسنیک به صورت محلول جامد دیده شده‌اند که مقدار آن‌ها به طور مستقیم با دمای تشکیل تغییر می‌کند. پارامترهای شیمی-بلور نقره بسیار به سرب نزدیک است و به صورت میدان هشت وجهی در کانی گالن دیده می‌شود. شعاع

مقدمه  
نقره از معدود عناصری است که در طبیعت به صورت آزاد یافت شده و یکی از نخستین گنج‌های بشر به شمار می‌رفته است [۱]. مقدار این عنصر در سنگ‌های آذرین متفاوت است و از ۰/۰۵ گرم بر تن در سنگ‌های اولترامافیک تا ۰/۰۷ گرم بر تن در سنگ‌های اسیدی تغییر می‌کند [۲]. تولید جهانی این عنصر در حدود ۲۰ درصد به عنوان فراورده اصلی از ذخایر نقره و در حدود ۸۰ درصد به صورت فراورده جانبی از کانسارهای مس، سرب، روی و طلاست [۱].

نقره اغلب همراه با سولفیدهای سرب، روی، و مس و گاهی در سولفیدهای بیسموت و آنتیموان دیده می‌شود. بنابراین، این

\*نویسنده مسئول، تلفن: ۰۹۱۳۱۵۱۴۵۶۱، نمبر: ۰۳۵۳۵۲۴۴۳۵، پست الکترونیکی: kohsary@yahoo.com

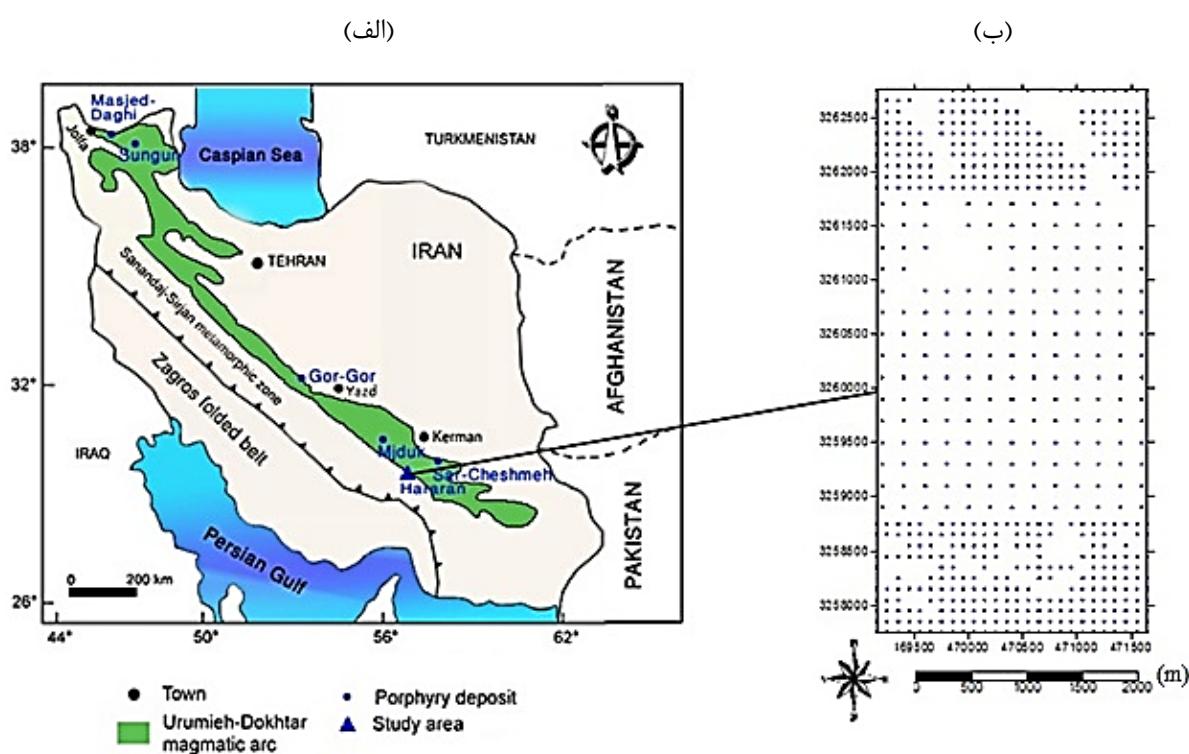
و بیشتر برای مواردی که ناپیوستگی داده‌ها چندان آشکار نیست، به کار برده می‌شود [۱۲]. تحلیل عاملی یک روش آماری چندمتغیره است که روابط بین متغیرها را بر اساس ضرایب همبستگی خطی بین آن‌ها اندازه‌گیری می‌کند. هدف اصلی این روش شناسایی ساختار داده‌های چندمتغیره و کاهش تعداد آن‌ها به تعدادی عامل مشخص است [۱۳]. یکی دیگر از روش‌های چندمتغیره، روش تحلیل خوش‌های سلسله مراتبی است که یکی از معمول‌ترین روش‌های خوش‌بندی است و در بررسی‌های زمین‌شناسی و آب‌شناسی برپایه پیدا کردن خوش‌هایی از نمونه‌ها با بیشترین شباهت، به کار می‌رود [۱۴]. پژوهشگران بسیاری از این روش‌ها برای اهداف مختلف زمین‌شیمی استفاده کرده‌اند که از آن جمله می‌توان به پژوهش انجام‌شده توسط خراسانی پور و همکاران اشاره کرد که با استفاده از روش‌های تحلیل چندمتغیره نواحی آلوده را در اطراف سرچشم‌های شناسایی کردند [۱۵]. علاوه بر آن هانگ و همکاران و ایدرسی و همکاران به ترتیب از این روش‌ها برای شناسایی عناصر سنگین در زمین‌های کشاورزی اطراف یک معدن سرب و روی واقع در چین و شناسایی عناصر سنگین در رسوبات واقع در سواحل دریای سرخ استفاده کرده‌اند [۱۶]. این روش‌ها توسط بسیاری از پژوهشگران برای شناسایی مناطق بی‌هنجری در اکتشاف مواد معدنی مورد استفاده قرار گرفته‌اند [۱۷، ۱۸، ۱۹-۲۳].

داده‌های مورد استفاده از نمونه‌های سنگ‌زمین‌شیمیایی از منطقه حراران برداشت شده‌اند که در ارتباط با کانی‌زایی مس-مولیدن پورفیری بوده و در شمال شرقی شهرستان بافت و در طول جغرافیایی "۳۰° ۳۹' ۵۶" تا "۴۳° ۰' ۵۶" شرقی و عرض جغرافیایی "۳۰° ۳۰' ۲۶" تا "۳۰° ۲۹' ۲۹" شمالی در نقشه مکان نگاری ۱:۱۰۰۰۰۰ بافت واقع است. این منطقه از نظر تقسیمات زمین‌شناسی در بخش جنوبی کمربند آتشفشاری ارومیه - دختر واقع است و بر اساس تقسیمات زمین‌ساختی دیمیتریویچ (۱۹۷۳) در پهنه دهچ - ساردوئیه در استان کرمان جای دارد [۲۴]. موقعیت جغرافیایی این منطقه در شکل ۱ الف نشان داده شده است.

یونی سرب بسیار نزدیک به شعاع یونی نقره است و باز اضافی در وضعیت هشت وجهی یون سرب باعث جانشینی بیسموت به همراه نقره در آن می‌شود [۴]. جانشینی نقره در گالن یک مثال خوب از محلول جامد است که در واکنش جانشینی  $2\text{Ag}^+ \leftrightarrow \text{Pb}^{2+}$  تقریباً نامحلول است و در نتیجه یک یا هر دو اتم آن در شبکه گالن جای می‌گیرند. در صورت نبود بیسموت و آنتیموان، جانشینی نقره در گالن در محلول جامد از ۰/۱ مول درصد تجاوز نمی‌کند و نقره تشکیل شده به صورت میانبار، رابطه بلوری با گالن میزبان نشان نمی‌دهد [۵].

علت وجود نقره به صورت محلول جامد در کانی‌های سولفیدی مس، شباهت در بار و اندازه یون‌های مس و نقره است که مقدار آن به ترتیب در کانی‌های کوولیت، بورنیت، کالکوسبیت، کالکوپیریت و پیریت افزایش می‌یابد [۶]. بطور کلی، توزیع نقره در کانی‌های مس نامنظم بوده و نتایج تجزیه شیمیایی کانی‌های مس نقره‌دار نشان داده است که بین مقدار مس و نقره آنها رابطه عکس وجود دارد و در این نوع کانی‌ها، مقدار نقره به صورت نقره طبیعی یا آلیاز آن بیش از حالتی است که به صورت جانشینی هم ریخت و بدون اصلاح ساختار بلوری آنها در ساختار کانی تشکیل می‌شود [۷].

یکی از منابع اصلی نقره در جهان ذخایر مس پورفیری هستند که عنصر نقره به عنوان فراورده جانبی استخراج می‌شود [۸]. متوسط نقره ذخایر مس پورفیری بین ۰/۲ تا ۵ گرم بر تن متغیر است [۹]. گستفسون و هانت مقدار نقره ذخیره مس پورفیری ال سالوادور را ۰/۴۱ گرم بر تن برآورد کردند که در کانی‌های بورنیت- کالکوپیریت وجود دارد [۱۰]. کوربت ارتباط بین کانی‌زایی مس، مولبیدن، طلا و نقره در سیستم‌های مس-مولبیدن پورفیری را با چند پژوهش موردي بررسی کرد [۱۱]. هدف از انجام این پژوهش بررسی رفتار زمین‌شیمیایی نقره در معدن مس پورفیری حراران و ارتباط آن با سایر عناصر، با استفاده از روش‌های تحلیل تک‌متغیره (روش آمار انصال) و تحلیل چندمتغیره (تحلیل خوش‌های و عاملی) است. آمار انصال، یکی از روش‌های تک‌متغیره‌ای است که از طریق آن حد آستانه‌ای تعیین می‌شود. اساس این روش تابع توزیع است



شکل ۱ موقعیت جغرافیایی منطقه حراران و نقاط نمونهبرداری آن: (الف) موقعیت جغرافیایی تعدادی از ذخایر مس-مولبیدن پورفیری و منطقه مورد مطالعه در کمریند ماقمایی ارومیه-دختر (ب) نقاط نمونهبرداری لیتوژئوشیمیایی در منطقه حراران.

باشند. دایک‌های داسیتی با روند شمال شرق-جنوب‌غرب در بیشتر قسمت‌های منطقه پخش شده‌اند. در بررسی‌های میکروسکوپی مقطع صیقلی به دست آمده از نمونه‌های واقع در منطقه حراران، کانی‌های کالکوپیریت، کوولیت و بورنیت دیده شده‌اند که برای مثال تصویری از یک نمونه در شکل ۳ آورده شده است. کالکوپیریت، کانی اصلی سولفیدی و مالاکیت کانی کربناتی این کانسار هستند. کالکوپیریت در بعضی نقاط و در اثر بروزند به کانی‌های کوولیت و بورنیت تبدیل می‌شوند. بافت کانی کالکوپیریت پرکننده فضای خالی است [۲۵].

#### روش بررسی نمونه‌برداری

در منطقه مورد بررسی به مساحت تقریبی ۱۲/۵ کیلومتر مربع، ۶۰۷ نمونه سنگ‌زمین‌شیمیایی در یک شبکه نامنظم نواحی جنوبی و شمالی، شبکه متراکم‌تر  $100 \times 100$  متر مربع و در مرکز با فواصل  $200 \times 200$  متر مربع برداشت شده است که جایگاه آنها در شکل ۱ ب دیده می‌شود. نمونه‌ها توسط شرکت

#### زمین‌شناسی منطقه مورد بررسی

چنان که در شکل ۲ دیده می‌شود، بیشتر واحدهای سنگ‌های قدیمی مربوط به دوره ائوسن هستند و در بیشتر نواحی منطقه رخمنون دارند و شامل سنگ‌های آندزیت و آندزیت پورفیری هستند که در شمال منطقه واقع شده‌اند. سنگ‌های آندزیتی برشی شده نوع دیگری از این واحدهای سنگی هستند که در جنوبی‌ترین قسمت از ناحیه مورد بررسی قرار گرفته‌اند. همچنین توده‌های نفوذی دیوریت و گرانوویوریت قرار گرفته در جنوب منطقه به درون سن‌های آتشفسانی نفوذ کرده و در پی آن دگرسانی و کانی‌سازی صورت گرفته است. افزون برآن، توده‌های نفوذی تونالیت و گرانوویوریت که در قسمت‌هایی از مرکز، غرب و شمال غرب منطقه واقع شده‌اند، مربوط به واحدهای سنگی ائوسن هستند. این توده‌ها به صورت استوکهای مجزا به مجموعه سنگ‌آتشفسانی آندزیتی نفوذ کرده و توده‌پس از کانی‌سازی بوده و بر کل مجموعه دگرسانی و کانی‌سازی نیز اثر داشته‌اند. دیگر رخمنون‌ها شامل آلوویم با سنگ آتشفسانی آندزیتی، آلوویم با جوش آتشفسانی، کوارتزی می-

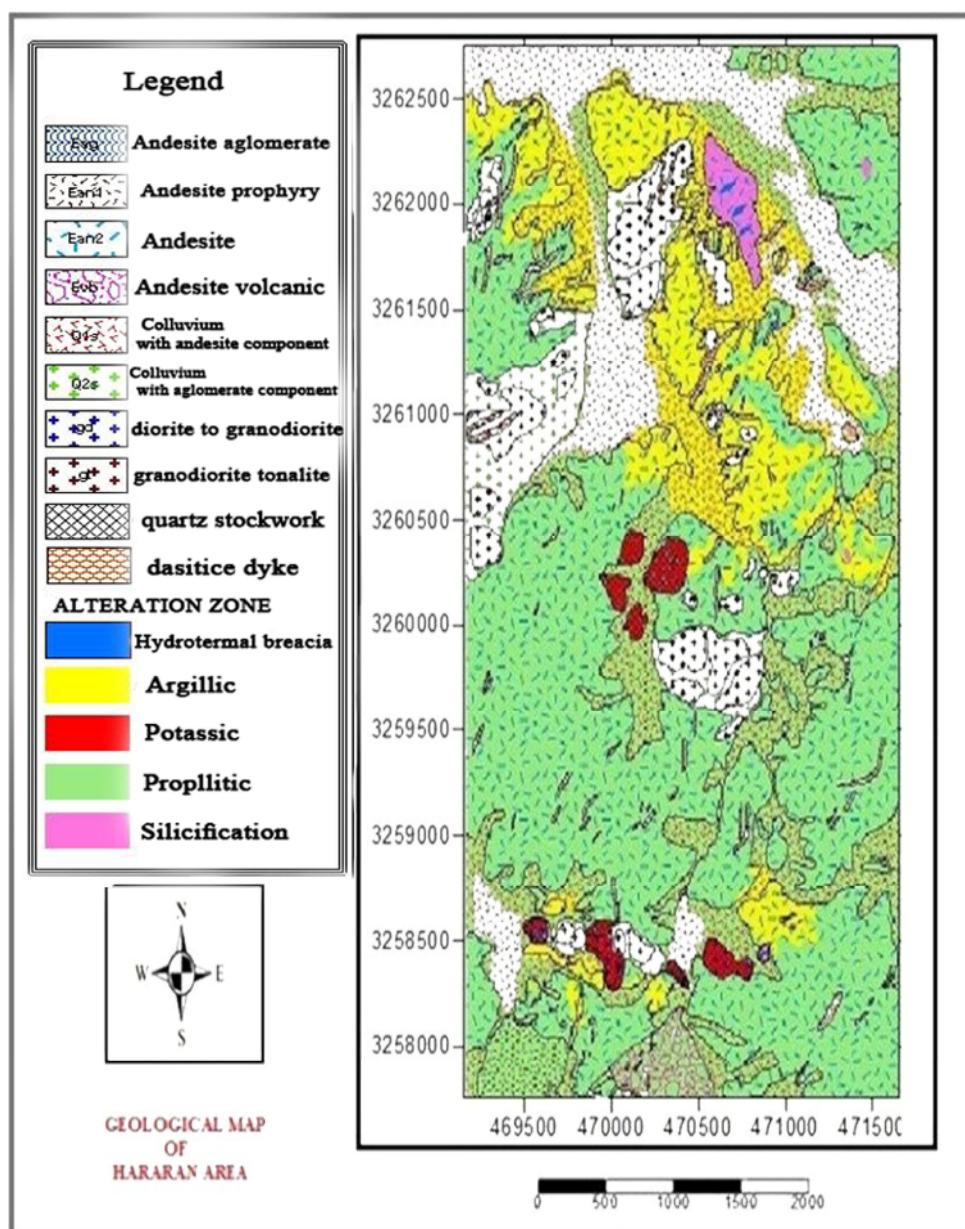
برای انجام بررسی‌های آماری این پژوهش از نرمافزار SPSS و برای رسم مناطق بی‌هنجاری عناصر از نرمافزار Golden Surfer استفاده شده است.

#### آمار انفصال

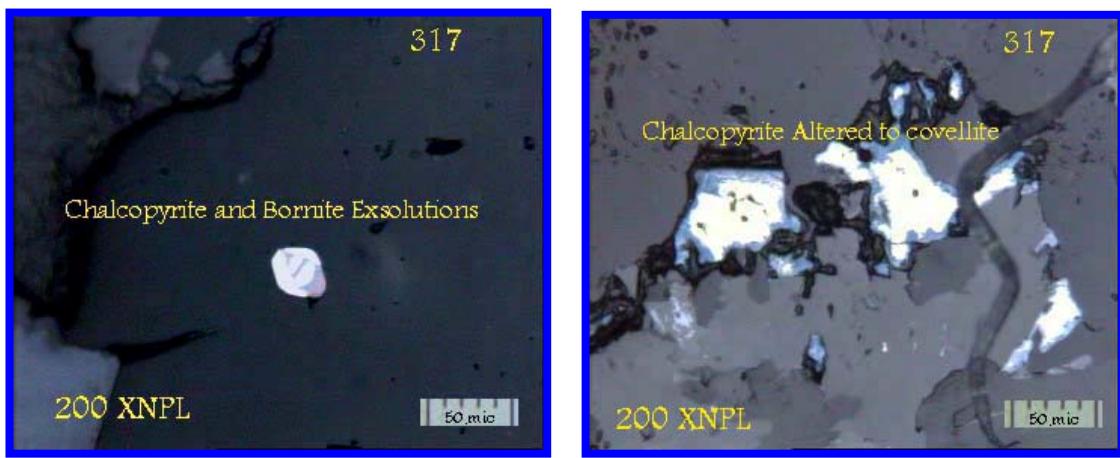
آمار انفصال یکی از روش‌های برپایه تابع توزیع است که به کمک آن می‌توان حد آستانه‌ای را برآورد کرد. آمار انفصال بیشتر برای مواردی که ناپیوستگی داده‌ها چندان آشکار نیست مفید است [۱۲].

مهندسين مشاور کاوشگران گستره کویر و به صورت سطحی برداشت شده‌اند [۲۵]. نمونه‌برداری تقریباً در سراسر منطقه مورد بررسی انجام شده است که ترکیب غالب سنگ‌شناسی آن‌ها، سنگ‌های آندزیتی تا داسیتی است. نمونه‌ها برای بررسی ۴۴ عنصر توسط آزمایشگاه Amdel استرالیا به روش طیف-سنجدی جرمی پلاسمای جفت شده القایی (ICP-MS) تجزیه W, Zn, Ag, As, Ba, Co, Cu, Mo, Pb, Sb, Sn, Sr شدند که در این پژوهش از نتایج تجزیه عناصر

استفاده شد.



شکل ۲ نقشه زمین‌شناسی منطقه حراان (۱:۵۰۰۰) رخنمون سنگ‌های قدیمی که در بیشتر منطقه دیده می‌شوند، مربوط به دوره ائوسن هستند.



شکل ۳ مقطع صیقلی نمونه به دست آمده از منطقه حراران که کانی‌های کالکوپیریت، بورنیت و کوولیت را نشان می‌دهد.

$$m = \frac{Z_i + 1 + Z_i}{2} \quad (3)$$

در آخر  $m_i$  مربوط به بزرگ‌ترین مقدار آمار انفال مشخص شده و توسط رابطه زیر مقدار حد آستانه‌ای مشخص می‌شود :

$$y = ZS + \bar{X} \quad (4)$$

#### روش‌های تحلیل چندمتغیره

روش‌های چندمتغیره برای بررسی و شناسایی روابط بین عناصر در داده‌های زمین‌شیمیایی اکتشافی مورد استفاده قرار می‌گیرند. این روش‌ها شامل تحلیل مؤلفه اصلی، تحلیل خوش‌های، تحلیل عاملی، تحلیل رگرسیون، تحلیل تمایز و ... هستند. در این پژوهش از روش‌های تحلیل عاملی و تحلیل خوش‌های سلسله مراتبی برای شناسایی روابط بین عناصر استفاده شده است [۲۸].

#### تحلیل عاملی

تحلیل عاملی یک روش آماری چندمتغیره است که روابط بین متغیرها را بر اساس ضرایب همبستگی خطی بین آن‌ها اندازه‌گیری می‌کند. هدف اصلی این روش شناسایی ساختار داده‌های چند متغیره و کاهش تعداد آن‌ها به تعدادی عامل مشخص است [۱۳]. در این روش چند عامل با استفاده از توابع خطی عناصر شیمیایی اصلی محاسبه می‌شوند. هر عامل برای گروه خاصی از عناصر به کار برده شده و ارتباط بین آن‌ها را مشخص می‌کند که این امر در زمین‌شیمی اکتشافی اهمیت بیشتری دارد تا اینکه هر عنصر به تنها یی مورد بررسی قرار گیرد. در این روش، بار هر عامل درجه ارتباط بین آن و متغیر را مشخص می‌کند [۱۴].

اولین قدم در استفاده از این روش یافتن تبدیلی از داده‌های توزیع داده‌ها را تا حد ممکن به توزیع نرمال نزدیک کند، زیرا اساس این روش بر فرض نرمال بودن توزیع داده استوار است. در مرحله بعد، داده‌های تبدیل یافته بر حسب مقدارشان مرتب شده و برای حذف آثار مقياس داده‌ها، باید استاندارد شوند، به طوری که میانگین هر عنصر صفر و انحراف معیار آن یک باشد. در اینجا، داده‌های استانداردشده  $Z$  نامیده می‌شوند. در مراحل بعدی مقدار آمار انفال برای هر زوج به صورت زیر محاسبه می‌شود: (۱) مرتب کردن مقادیر به  $Z$  ترتیب صعودی، (۲) محاسبه میانگین دو مقدار متوالی استانداردشده ( $m_i$ )، (۳) بدست آوردن تفاوت دو مقدار متوالی استانداردشده که فاصله‌های استاندارد نامیده می‌شوند، (۴) محاسبه مقدار آمار انفال ( $G_i$ ): بزرگ‌ترین مقادیر فواصل استانداردشده متمایل به قرار گرفتن در انتهای توزیع هستند و تقریباً هرگز تمایل ندارند که در نزدیکی میانه قرار بگیرند؛ بنابراین، مقادیر حد آستانه زمین‌شیمیایی می‌توانند در هر مکانی و با مقادیر متفاوتی قرار بگیرند. در این حالت، این روند به وجود آمده باید حذف شود که با ضرب کردن مقادیر فواصل استانداردشده در فراوانی فرض شده در مرکز فاصله موردنظر انجام می‌شود. (۵) انتخاب بزرگ‌ترین مقدار  $G_i$ ‌های محاسبه شده و سپس محاسبه  $m_i$  متناظر با آن به عنوان آمار انفال و حد آستانه داده‌ها با استفاده از آن [۱۲، ۲۷].

روش محاسبه  $G_i$  به طور خلاصه در زیر آورده شده است.

$$G_i = F(m) \left[ Z_i + 1 - Z_i \right] i = 1, 2, \dots, n - 1 \quad (1)$$

$$F(m) = 0.3989e - \frac{1}{2} m^2 \quad (2)$$

پس از آن مقادیر آماری اولیه داده‌های خام (۶۰۷ نمونه) برای عناصر مختلف محاسبه شد که در جدول ۱ نشان داده شده است. چنان که دیده می‌شود، مقادیر میانگین، انحراف معیار، بیشینه و کمینه عنصر نقره به ترتیب برابر با  $0,33$ ,  $0,49$ ,  $8,67$  و  $0,01$  گرم بر تن است. با بررسی نمودار ستونی عناصر و پارامترهای آماری آن‌ها مشخص شد که آن‌ها از توزیع نرمال پیروی نمی‌کنند. برای استفاده از روش‌های آماری توضیح داده شده، لازم است که داده‌ها دارای توزیع نرمال باشند؛ بنابراین با استفاده ازتابع تبدیل لاغ نرمال، داده‌ها تبدیل شدند تا از توزیع نرمال پیروی کنند. برای مثال نمودار ستونی داده‌های خام عنصر نقره و داده‌های تبدیل یافته در شکل ۴ آورده شده است.

#### نتایج روش آماره انصال

بر اساس اصول روش آمار انصال که در بخش ۲-۲ توضیح داده شد و بر اساس روابط ارائه شده، یک کد در برنامه اکسل نوشته شد. مقادیر حد آستانه‌ای داده‌ها برای هر عنصر محاسبه شد که نتایج آن در جدول ۲ آورده شده است. دیده می‌شود که حد آستانه برای نقره برابر با  $0,42$  محاسبه شده است. بنابراین، مقادیر بزرگ‌تر از حد آستانه به عنوان مناطق دارای بی‌هنجری شناخته می‌شوند که این مناطق برای عناصر نقره، مس، سرب و روی در منطقه حراران در شکل‌های ۵ الی ۸ نشان داده شده است. چنان که دیده می‌شود، این مناطق بی‌هنجری تقریباً هم‌پوشی دارند.

#### تحلیل خوش‌های سلسله مراتبی

روش آنالیز خوش‌های سلسله مراتبی یکی از معمول‌ترین روش‌های خوش‌بندی است که در بررسی‌های زمین‌شناسی و آب‌شناسی برپایه پیدا کردن خوش‌هایی از نمونه‌ها با بیشترین شباهت، به کار می‌رود [۱۴]. در این روش، ابتدا فاصله (شباهت) جفت نمونه‌ها محاسبه شده و سپس گروه‌ها بر اساس شباهتشان امتیازدهی می‌شوند و سرانجام نمودار درختی که یک ساختار سلسله مراتبی است و چگونگی اتصال نمونه‌ها و یا متغیرها به هم را نشان می‌دهد، تولید می‌شود [۲۹]. در بالای این نمودار یک مقیاس خطی افقی قرار داده می‌شود. محل اتصال هر نمونه با یک خوشی یا یک خوشی به خوشی دیگر بر این مقیاس خطی متناظر با درجه شباهت آن است [۱۴]. روش‌های سلسله مراتبی و دیگر الگوریتم‌های خوش‌بندی با به کاربردن یک روش کارا از نظر محاسباتی سعی می‌کنند تا خوش‌های مناسب را ارائه نمایند. این روش خوش‌بندی نخست هر نقطه را به عنوان یک خوشی مجزا در نظر گرفته و شباهت سایر نقاط را نسبت به آن می‌سنجد و نقاط مشابه را در یک خوشی قرار می‌دهد و این کار تکرار می‌شود تا همه نقاط خوش‌بندی شوند [۱۴].

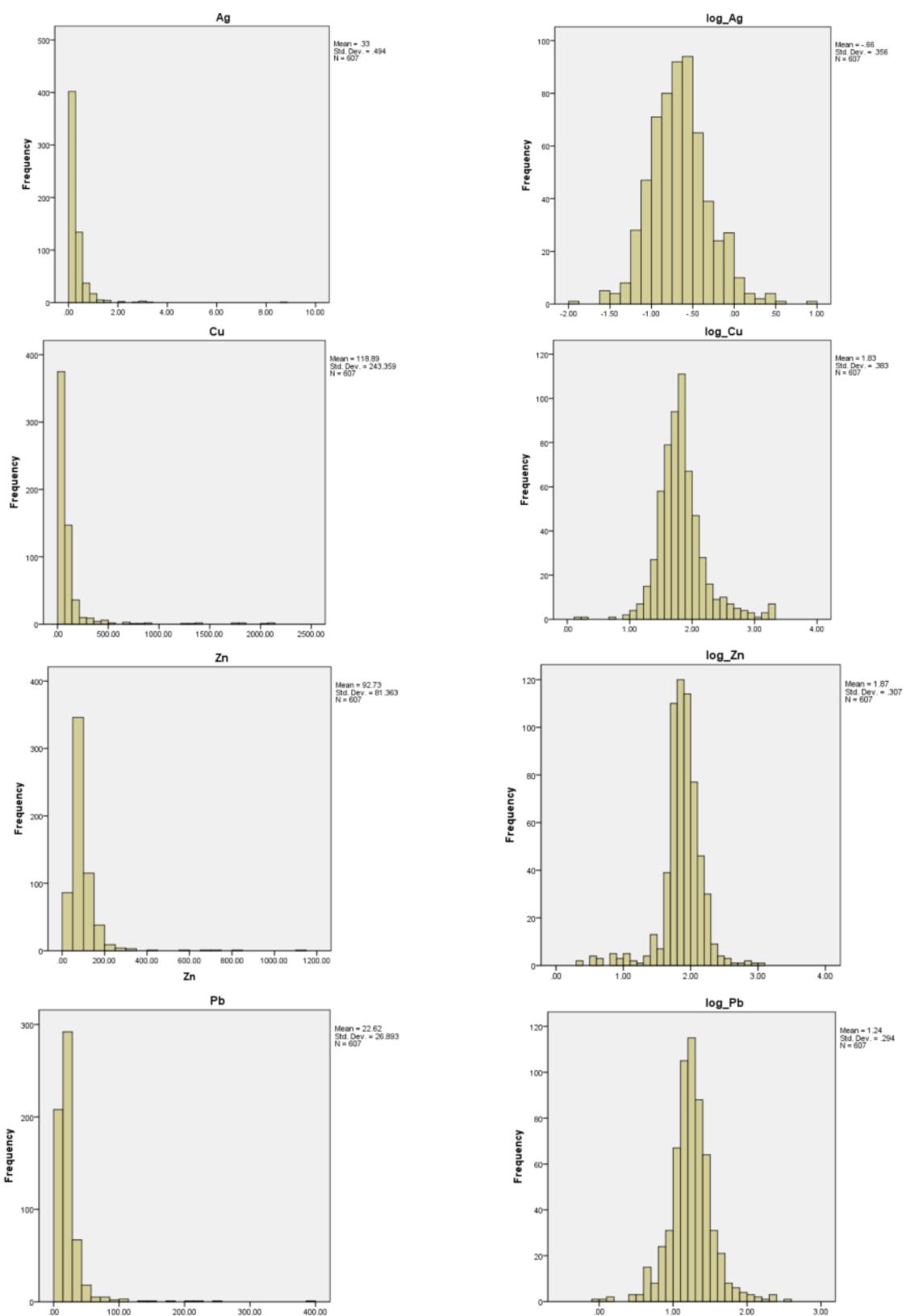
#### نتایج

#### پردازش‌های آماری اولیه

پیش از انجام تحلیل‌های آماری، لازم است که داده‌ها پیش‌پردازش شوند که شامل جایگزینی مقادیر سنسور و خارج از ردیف و تبدیل داده‌ها از فضای بسته به فضای باز است.

**جدول ۱** پارامترهای آمار توصیفی اولیه بعضی از عناصر در منطقه حرaran

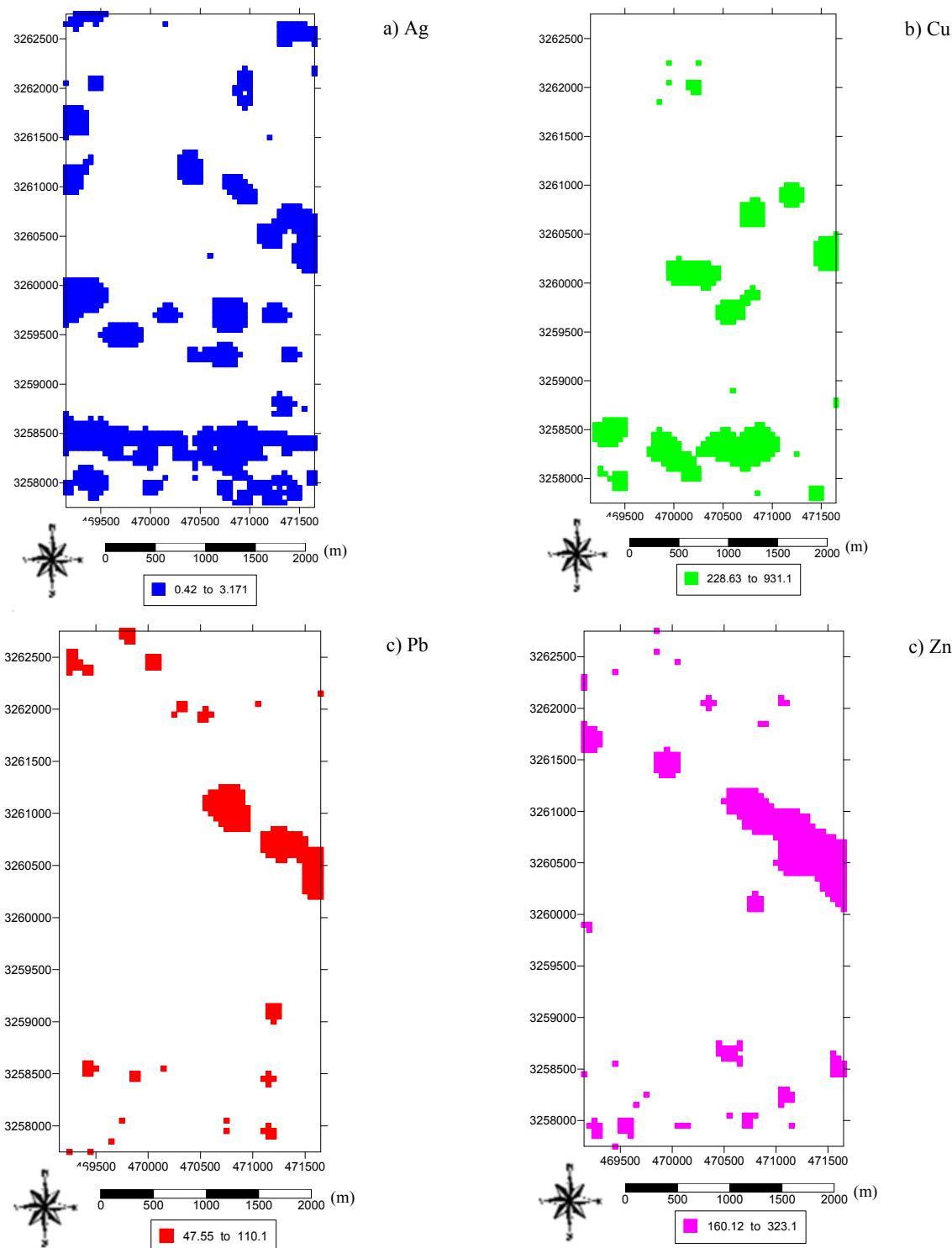
عنصر	میانگین (گرم بر تن)	انحراف معیار (گرم بر تن)	کمینه (گرم بر تن)	بیشینه (گرم بر تن)	کشیدگی (گرم بر تن)
نقره	۰,۳۳	۰,۴۹	۰,۰۱	۸,۶۷	۹,۶۰
مس	۱۱۸,۸۹	۲۴۳,۳۶	۱,۴۰	۲۱۲۰,۰۰	۵,۸۲
سرب	۲۲,۶۲	۲۶,۸۹	۰,۸۰	۳۹۵,۰۰	۷,۵۲
روی	۹۲,۷۳	۸۱,۳۶	۲,۱۰	۱۱۱,۰۰	۶,۵۰
استرانسیوم	۳۳۷,۸۲	۹۳,۲۵	۳۷,۵۰	۶۸۷,۰۰	۸۰,۴۸
باریم	۳۰۷,۱۱	۱۹۶,۹۷	۱۰,۹۰	۱۵۷۰,۰۰	۲,۲۲
آرسنیک	۱۲,۷۰	۱۱,۵۰	۰,۵۰	۱۲۳,۰۰	۳,۶۲
کبات	۱۵,۰۷	۵,۸۳	۰,۴۰	۲۴,۲۰	۸۰,۳۵
مولیبدن	۱,۱۹	۲,۶۱	۰,۰۵	۳۴,۶۰	۷,۶۵
آنتمیوان	۲,۶۰	۱,۸۱	۰,۱۰	۱۵,۷۰	۱,۷۸
فلز	۱,۱۱	۰,۵۵	۰,۰۷	۵,۳۰	۲,۷۸
تنگستن	۱,۱۵	۱,۹۳	۰,۰۷	۴۶,۳۰	۲۱,۲۹



شکل ۴ نمودارهای ستونی داده‌های خام سنگ زمین‌شیمیایی (سمت چپ) و داده‌های سنگ زمین‌لیتوژئوشیمیایی تبدیل یافته با تابع لگ بهنجار عنصر نقره، مس، سرب و روی در منطقه حراران.

جدول ۲ مقادیر حد آستانه‌ای به دست آمده برای عناصر مختلف با استفاده از روش آمار انفال در منطقه مورد بررسی.

	سرب	استرانسیوم	باریم	نقره	ارسنیک	کیالت	مس	مولیبدن	آنتمیوان	روی	قلع	تنگستن
حد آستانه	۴۷,۵۵	۴۵۰,۱۴	۳۰۶,۰۰	۰,۴۲	۱۴,۸۷	۳۲,۱۴	۲۲۸,۶۳	۰,۷۱	۳,۶۱	۱۶۰,۱۲	۱,۰۶	۱,۲۵



شکل ۵ نقشه بی‌هنجاری عناصر نقره، مس، سرب و روی در منطقه حراران (مناطق رنگی نشان‌داده شده مقادیری بالاتر از حد آستانه برای هر عنصر هستند).

عنصر، میانگین داده‌ها از هر داده کم شده و بر انحراف معیار آن‌ها تقسیم شد. در مرحله دوم، عوامل مهم با استفاده از نمودار صخره‌ای و جدول واریانس کلی که به ترتیب در شکل ۷ و جدول ۳ نشان داده شده‌اند، استخراج شدند. بر این اساس، ۴ عامل انتخاب شد که واریانس کل محاسبه شده برای آن‌ها بیش از ۶۶ درصد بود و علاوه بر آن، این چهار عامل مقدار ویژه بالاتر از یک را در نمودار صخره‌ای نشان دادند. در مرحله سوم، تابع چرخش واریمکس بر مؤلفه‌های اصلی اعمال و ماتریس بار عوامل (مقادیر ویژه هر عامل) مشخص شد و سرانجام امتیاز هر عامل با ضرب امتیاز استاندارد متغیر اصلی در بار عوامل محاسبه شد. گفتنی است که این محاسبات توسط نرم افزار SPSS انجام شد. با بررسی بار هر عامل مشخص شد که عناصر مس و نقره در عامل سوم دارای بالاترین مقدار ویژه هستند و با توجه به نقشه عامل، محل بی‌هنچاری این عناصر مرکز کانی‌زایی را نشان داد. نقشه این عامل به همراه مقادیر ویژه عناصر موجود در آن در شکل ۸ نشان داده شده است. بر اساس این نقشه، نواحی با مقادیر ویژه بالا به رنگ قرمز نشان داده شده‌اند که محل بی‌هنچاری‌های مس و نقره هستند؛ بنابراین، مرکز کانی‌زایی در جنوب ناحیه مورد بررسی قرار دارد.

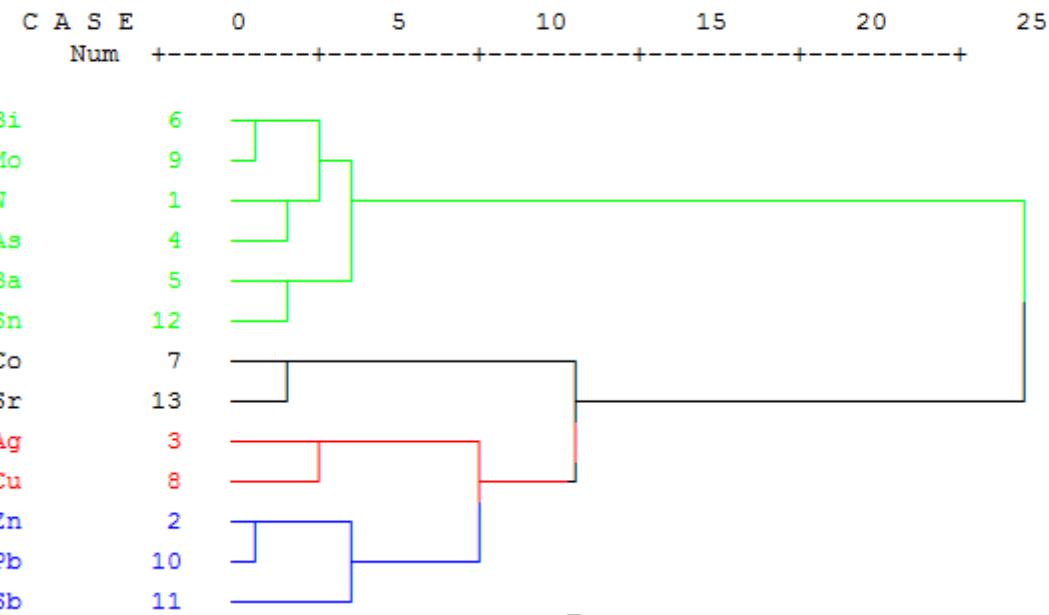
### نتایج تحلیل خوش‌های

نتایج برآمده از تحلیل خوش‌های با استفاده از روش وارد و فاصله اقلیدسی به صورت نمودار درختی در شکل ۶ نشان داده شده است. عناصر با توجه به همبستگی آنها، در چهار گروه جداگانه تفکیک شده‌اند که در شکل این گروه‌ها با رنگ‌های مختلف نشان داده شده‌اند. گروه سوم که با رنگ قرمز نشان داده شده است شامل عناصر نقره و مس است و این نشان می‌دهد که این دو عنصر بالاترین همبستگی را با هم دارند. علاوه بر آن، عناصر سرب، روی و آنتیموان که به رنگ آبی در نمودار خوش‌ای نشان داده شده‌اند نیز در یک گروه جداگانه قرار گرفته‌اند که بیانگر همبستگی این عناصر است و چنان که دیده می‌شود این دو گروه از عناصر در مرحله بعد یک گروه بزرگ‌تر تشکیل می‌دهند که نشان‌دهنده وجود همبستگی بین نقره و سرب و روی اما به میزان کمتر نسبت به مس و نقره است.

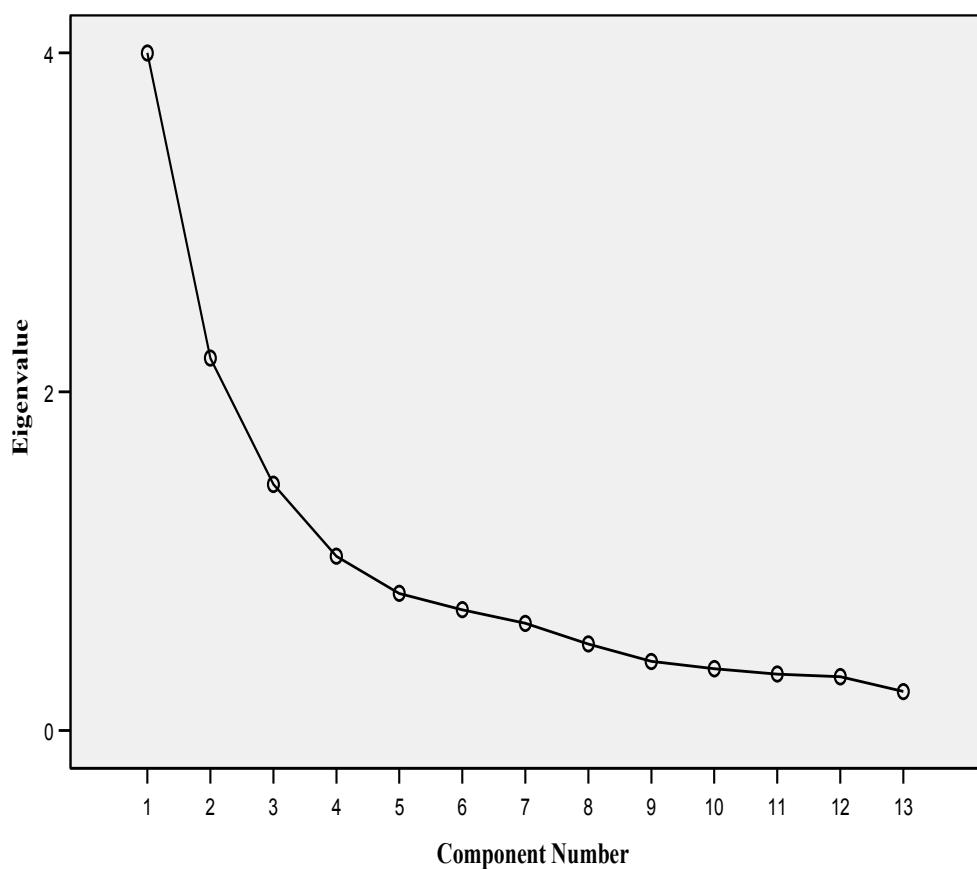
### تحلیل عاملی

برای انجام این روش، داده‌های پس از پیش‌پردازش، استاندارد شدند تا اثر مقیاس از بین برود. یکی از مهم‌ترین روش‌های استانداردسازی، تبدیل داده‌ها به صورتی است که میانگین آن‌ها صفر و واریانس آن‌ها یک باشد [۱۲]. به این منظور، برای هر

Rescaled Distance Cluster Combine



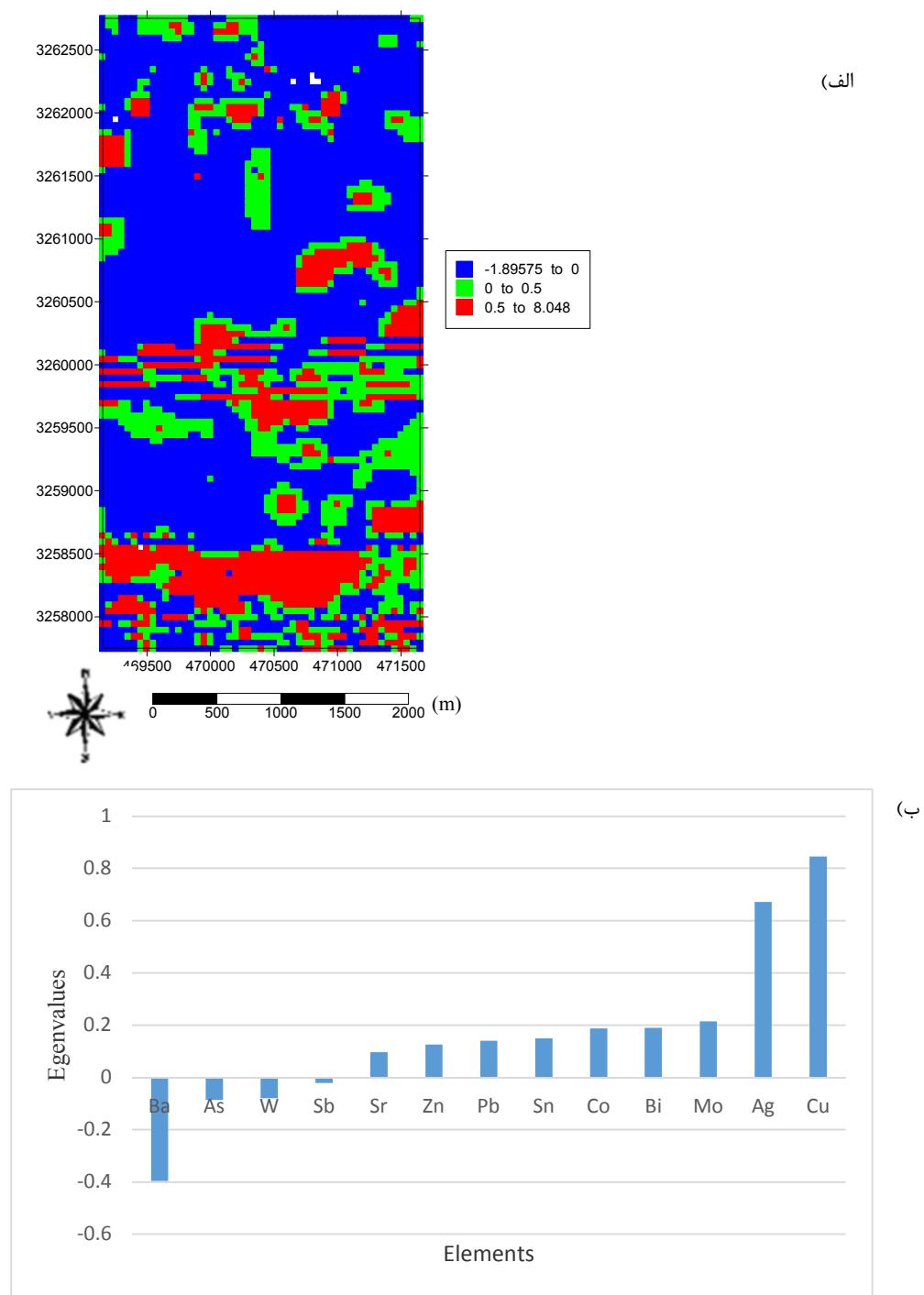
شکل ۶ نمودار خوش‌های به دست‌آمده از تحلیل خوش‌های سلسه مراتبی داده‌های سنگ‌زمین‌شیمیایی در منطقه حرaran.



شکل ۷ نمودار صخره‌ای به دست آمده از تحلیل عاملی برای تعیین تعداد عوامل مؤثر.

جدول ۳ واردابی تجمعی به دست آمده از تحلیل عاملی داده‌های سنگ‌زمین‌شیمیایی در منطقه حراران.

عامل	بردارهای ویژه اولیه				مجموع مولفه‌های استخراج شده				مجموع مولفه‌های دوران یافته			
	کل	واریانس (%)	واریانس (%)	تجمعی (%)	کل	واریانس (%)	واریانس (%)	تجمعی (%)	کل	واریانس (%)	واریانس (%)	تجمعی (%)
1	۴,۰۰	۳۰,۷۶	۳۰,۷۶	۳۰,۷۶	۴,۰۰	۳۰,۷۶	۳۰,۷۶	۳۰,۷۶	۳,۹۶	۳۰,۴۶	۳۰,۴۶	۳۰,۴۶
2	۲,۲۰	۱۶,۹۱	۴۷,۶۷	۴۷,۶۷	۲,۲۰	۱۶,۹۱	۴۷,۶۷	۴۷,۶۷	۱,۷۸	۱۳,۶۷	۴۴,۱۳	۴۴,۱۳
3	۱,۴۵	۱۱,۱۸	۵۸,۸۵	۵۸,۸۵	۱,۴۵	۱۱,۱۸	۵۸,۸۵	۵۸,۸۵	۱,۵۲	۱۱,۷۱	۵۵,۸۴	۵۵,۸۴
4	۱,۰۳	۷,۹۱	۶۶,۷۶	۶۶,۷۶	۱,۰۳	۷,۹۱	۶۶,۷۶	۶۶,۷۶	۱,۴۲	۱۰,۹۲	۶۶,۷۶	۶۶,۷۶
5	۰,۸۱	۶,۲۳	۷۲,۹۹									
6	۰,۷۱	۵,۴۹	۷۸,۴۸									
7	۰,۶۳	۴,۸۷	۸۳,۳۴									
8	۰,۵۱	۳,۹۳	۸۷,۲۷									
9	۰,۴۱	۳,۱۴	۹۰,۴۱									
10	۰,۳۶	۲,۸۱	۹۳,۲۲									
11	۰,۳۳	۲,۵۷	۹۵,۷۹									
12	۰,۳۲	۲,۴۴	۹۸,۲۳									
13	۰,۲۳	۱,۷۷	۱۰۰,۰۰									



شکل ۸ نقشه عامل سوم به همراه (ب) مقادیر ویژه عناصر مربوط به آن برآمده از تحلیل عاملی در منطقه مورد بررسی.

کانسار مس پروفیری نیز تعمیم داده شود. این نتایج در جدول ۴ آورده شده است و بر اساس آن می‌توان نتیجه گرفت که نقره به صورت محلول جامد در کانی‌های گالن و کانی‌های مس‌دار مانند کالکوپیریت یا بورنیت وجود دارد که با نتایج به دست آمده از داده‌های سنگ‌زمین‌شیمیایی همخوانی دارد.

#### نتایج کانی‌شناسی

از آنجا که نتایج تجزیه نقره برای کانی‌های کالکوپیریت و یا گالن در منطقه مورد بررسی موجود نیست، نتایج تجزیه آن‌ها برای تعدادی کانسار مس پروفیری از سایر نقاط دنیا آورده شده است. با توجه به اینکه معمولاً مدل‌های کانسارهای مس پروفیری مشابه هستند، نتایج گزارش شده می‌تواند به این

جدول ۴ مقدار عنصر نقره بر حسب گرم بر تن در کانی‌های کالکوپیریت، گالن و بورنیت تعدادی از ذخایر مس پورفیری

نام ذخیره	کالکوپیریت	گالن	بورنیت	مرجع
Valea Morii	۲۲۰	۱۵۶۳		[30]
Bucium-Tarni ța	۸۳			[30]
Bolcana	۱۲۹	۱۵۱۰		[30]
Rovina	۲۷۷			[30]
Roșia Poien	۱۲۵	۱۴۷۷	۲۹۷	[30]
Colnic	۱۵۱		۲۴۹۷	[30]
Elatsite Bulgaria		۶۱۸		[5]

ارتباط بوده و از سوی دیگر نیز در ارتباط با هاله‌های سرب و روی به علت قرار گرفتن در ساختار گالن به صورت محلول جامد است [۳۱]. این عنصر به همراه مس در مرکز کانی‌زایی و در همراهی با سرب و روی در لبه کانی‌زایی قرار گرفته است. علاوه بر آن، نتایج کانی‌شناسی نیز وجود کانی‌های کالکوپیریت، بورنیت و کوولیت را در منطقه مورد بررسی نشان دادند که با نتایج به دست آمده از تحلیل‌های آماری همخوانی دارد.

#### مراجع

- [1] Pohl W. L., "Economic geology: Principles and practice", John Wiley & Sons,(2011).
- [2] Butterman W.H. E. Hilliard, "Mineral commodity profiles: Silver", (2005).
- [3] Huston D., W. JablonskiS. Sie, "The distribution and mineral hosts of silver in eastern Australian volcanogenic massive sulfide deposits", The Canadian Mineralogist 34(3)(1996) 529-546.
- [4] Blackburn W. H.J. F. Schwendeman, "Trace-element substitution in galena", Canadian Mineralogist 15(3)(1977) 365.
- [5] George L., N. J. Cook, L. CristianaB. P .Wade, "Trace and minor elements in galena: A reconnaissance LA-ICP-MS study", American Mineralogist 100(2-3)(2015) 548-569.
- [6] Gammons C., J. SzarkowskiR. Stevenson, "in the world-class porphyry-lode deposits of Butte, MT."
- [7] Kozub G. A. "Distribution of Ag in Cu-sulfides in Kupferschiefer deposit, SW Poland". EGU General Assembly Conference Abstracts, (2014).
- [8] Cox D. P.D. Singer, "Gold–Distribution of gold in porphyry copper deposits", Contributions to commodity geology research: US Geological Survey Bulletin(1988) C1-C14.

#### برداشت

روش‌های آمار انفصل، تحلیل خوشاهی سلسه مراتبی و تحلیل عاملی برای شناسایی رفتار زمین‌شیمیایی عنصر نقره در ذخیره مس-مولیبدن پورفیری واقع در منطقه حراران استفاده شدند. مقادیر حد آستانه عنصر نقره و عناصر همراه با استفاده از روش آمار انفصل محاسبه شدند و بر اساس این مقادیر نقشه بی-هنجری عناصر نقره، مس، سرب و روی رسم شدند. نواحی بی-هنجری عنصر نقره بیشترین همپوشی را نخست با نواحی دارای بی-هنجری عنصر مس و در مرحله بعد با نواحی سرب و روی دار نشان دادند. این نتیجه با رفتار دوگانه‌ای که عنصر نقره در سیستم‌های مس-مولیبدن پورفیری نشان می‌دهد، همخوانی دارد. نتایج تحلیل خوشاهی سلسه مراتبی نشان داد که عناصر نقره و مس بالاترین همبستگی را با هم داشته و در یک گروه مستقل قرار گرفته‌اند. علاوه بر آن، عناصر سرب، روی و آنتیموان نیز در یک گروه جداگانه قرار گرفته‌اند که همبستگی بالای این عناصر را با هم نشان می‌دهد. این دو گروه از عناصر در مرحله بعد یک گروه بزرگ‌تر را تشکیل دادند که نشان-دهنده وجود همبستگی بین نقره و سرب و روی اما به میزان کمتر نسبت به مس و نقره است. از میان چهار عامل به دست آمده با استفاده از تحلیل عاملی، عامل سوم، عناصر نقره و مس بالاترین ویژه مقادیر را نشان دادند که علت آن همراهی این دو عنصر با یکدیگر است و همچنین رسم نقشه این عامل نشان داد که این دو عنصر در مرکز کانی‌زایی قرار دارند. بنابراین، بررسی‌های آماری ارائه شده رفتار دوگانه عنصر نقره را در سیستم‌های مس-مولیبدن پورفیری نشان دادند. بهطوری که هاله‌های این عنصر از یک طرف با هاله مس به علت قرار گرفتن در ساختار کانی‌های مس‌دار مانند کالکوپیریت و بورنیت در

- Egypt", Natural Resources Research 20(3)(2011) 157-176.*
- [19] Yaylali-Abanuz G., N. TüysüzE. Akaryalı, "Soil geochemical prospection for gold deposit in the Arzular area (NE Turkey)", Journal of Geochemical Exploration 112(0)(2012) 107-117.
- [20] Embui V. F., B. O. Omang, V. B. Che, M. T. NforbaE. C. Suh, "Gold grade variation and stream sediment geochemistry of the Vaimba-Lidi drainage system, northern Cameroon (West Africa)", Natural Science 5(2013) 282.
- [21] Gazley M., K. Collins, J. Roberston, B. Hines, L. FisherA. McFarlane. "Application of principal component analysis and cluster analysis to mineral exploration and mine geology". AusIMM New Zealand Branch Annual Conference: (2015).
- [22] Afzal P., M. Mirzaei, M. Yousefi, A. Adib, M. Khalajmasoumi, A. Z. Zarifi, P. FosterA. B. Yasrebi, "Delineation of geochemical anomalies based on stream sediment data utilizing fractal modeling and staged factor analysis", Journal of African Earth Sciences 119(2016) 139-149.
- [23] Liu Y., Q. Cheng, K. Zhou, Q. XiaX. Wang, "Multivariate analysis for geochemical process identification using stream sediment geochemical data: A perspective from compositional data", Geochemical Journal 50(2016).
- [24] Khakzad A., Jafari H. "Mineralogy, paragensis and economic geology of Cu deposits in Hararan area, Kerman". 10 th Symposium of Crystallography and mineralogy of Iran (2003).
- [25] Kavoshgaran Gostaresh Kavir Consultant Engineers Company, "Geochemical Assessment Report of lithogeochemical and drainge Trace Elements, Qhale Askar Region"(2009).
- [26] Alikhani A., geological map of Hararan area (1:5000), (2005).
- [27] Miesch A. T., "Estimation of the geochemical threshold and its statistical significance", Journal of Geochemical Exploration 16(1)(1981) 49-76.
- [28] Carranza E. J. M., "Chapter 6: Analysis of Geologic Controls on Mineral Occurrence". Handbook of Exploration and Environmental Geochemistry. M. C. Emmanuel John, Elsevier Science B.V. Volume 11 (2009) 147-187.
- [29] Sfidari E., A. Kadkhodaie-IllkhchiS. Najjari, "Comparison of intelligent and statistical clustering approaches to predicting total organic carbon using intelligent systems", Journal of [9] Sinclair W. D., "Porphyry deposits, in Goodfellow, W.D", Mineral Deposits of Canada: A Synthesis of Major Deposit-Types, District Metallogeny, the Evolution of Geological Provinces, and Exploration Methods: Geological Association of Canada, Mineral Deposits Division, Special Publication 5(2007) 223-243.
- [10] Gustafson L. B.J. P. Hunt, "The porphyry copper deposit at El Salvador, Chile", Economic Geology 70(5)(1975) 857-912.
- [11] Corbett G. "Anatomy of porphyry-related Au-Cu-Ag-Mo mineralised systems: Some exploration implications". Australian Institute of Geoscientists North Queensland Exploration Conference, (2009).
- [12] Hasani pak A., Sharafadin M., "exploration data analysis", third edition, Tehran University Press (2011), 473p.
- [13] Adisa A.J. Adekoya, "Statistical analysis of stream sediment geochemical data from Oyi drainage systems, Western Nigeria", Ife Journal of Science 18(1)(2016) 1-17.
- [14] Nude P. M., "Identifying Pathfinder Elements for Gold in Multi-Element Soil Geochemical Data from the Wa-Lawra Belt, Northwest Ghana: A Multivariate Statistical Approach", International Journal of Geosciences 03(01)(2012) 62-70.
- [15] Khorasanipour M., M. TangestaniR. Naseh, "Application of multivariate statistical methods to indicate the origin and geochemical behavior of potentially hazardous elements in sediment around the Sarcheshmeh copper mine, SE Iran", Environmental Earth Sciences 66(2)(2012) 589-605.
- [16] Idris A. M., "Combining multivariate analysis and geochemical approaches for assessing heavy metal level in sediments from Sudanese harbors along the Red Sea coast", Microchemical Journal 90(2)(2008) 159-163.
- [17] Huang L.-M., C.-B. Deng, N. HuangX.-J. Huang, "Multivariate statistical approach to identify heavy metal sources in agricultural soil around an abandoned Pb-Zn mine in Guangxi Zhuang Autonomous Region, China", Environmental Earth Sciences 68(5)(2013) 1331-1348.
- [18] El-Makky A. M., "Statistical Analyses of La, Ce, Nd, Y, Nb, Ti, P, and Zr in Bedrocks and Their Significance in Geochemical Exploration at the Um Garayat Gold Mine Area, Eastern Desert,

[31] kurdiasef a., "application of lithochemical methods in detection and exploration and estimation of porphyry copper deposits", Institute of mineralogy, Geochemistry and Crystal Chemistry of Trace elements, Academy of Russian sciences (in Russian), (1989).

Petroleum Science and Engineering 86(2012) 190-205.

[30] Cioacă M. E., M. Munteanu, L. QiG. Costin, "Trace element concentrations in porphyry copper deposits from Metaliferi Mountains, Romania: A reconnaissance study", Ore Geology Reviews 63(2014) 22-39.