



مقاله پژوهشی

بررسی و تهیه نقشه پتانسیل مطلوب کانی سازی پنهان مس-طلا دار پورفیری ورقه های یکصد هزارم بصیران و کودگان

منصور ضیائی^{۱*}، علی شبانی^۱، مهرداد سلیمانی منفرد^۱، عارف شیرازی^۲، سید امیرعلی حامدی^۲

۱- گروه معدن، دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران

۲- دانشکده مهندسی معدن، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران

(دریافت: شهریور ۱۴۰۱، پذیرش: خرداد ۱۴۰۲)

چکیده

این مطالعه در کمر بند متالورژی قلعه زری - ده سلم متعلق به ورقه اصلی بصیران و کودگان صورت پذیرفت. نقشه پتانسیل مطلوب خاص ذخایر پنهان مس طلا دار پورفیری با استفاده از داده های ژئوشیمیایی رسوبات آبراهه ای، ساختاری، زمین شناسی و پراکندگی اندیس ها تهیه شد. از روش های ترکیبی زونالیته ژئوشیمیایی، سینگولاریتی و سلسله مراتبی فازی (AHP) استفاده گردید. در این تحقیق از روش کلان داده های ژئوشیمیایی برای ارزیابی منظرهای ژئوشیمیایی خشک و کویری جهت آشکار سازی آنومالی های پنهان و عمیق که دگرسانی ضعیف دارند استفاده گردید از ۵۲۰۰ کیلومتر مربع ۴۹۰ کیلومتر پتانسیل دار جدا شد و ۱۷ اندیس از ۲۲ اندیس کانی سازی شده در مناطق پتانسیل دار واقع شده اند.

کلمات کلیدی

زونالته، مس-طلا پورفیری، بصیران، کودگان، تلفیق سلسله مراتبی، AHP

*عهده دار مکاتبات: m.ziaii47@gmail.com

۱- مقدمه

در مرحله پی‌جویی نشان دهد. زو و همکاران [۸] برای تشخیص ذخایر مس در منطقه معدنی واقع در غرب چین روش سینگلاریتی را بکار بردند. در نقشه‌ی پراکندگی‌های ژئوشیمیایی، آنومالی‌های ضعیف در زیرمجموعه‌هایی از این منطقه را به دلیل زمینه بالا در مناطق مجاور تشخیص داده نشد. از این‌رو آن‌ها با بکارگیری از روش سینگلاریتی توانستند اثر زمینه را حذف کرده و همچنین آنومالی ضعیف را در بخش‌هایی با مقدار زمینه‌ی بالا مشخص کنند. لیو و همکاران (۲۰۱۴) ذخیره‌ی مس اسکارنی را که در ایالت آنهوی چین در عمق ۸۰۰ متری از سطح زمین واقع شده است مطالعه کردند. در این پژوهش با نمونه‌برداری از سطح و عمق و با ایجاد شبکه ۵۰ متر در ۲۰۰ متر سه‌بعدی منظم با مشاهده‌ی تغییرات غلظت عناصر از سطح به سمت ماده‌ی معدنی در عمق، گزارش کردند که عیار مس و نقره از عمق ۲۰۰ متری به سمت ماده‌ی معدنی افزایش و غلظت سرب و آرسنیک با فاصله گرفتن از سطح کاهش می‌یابد. صفری و ضیایی [۹] با مطالعه در منطقه‌ی کرومر استان کرمان با استفاده از شاخص زونالیت و روش تکنیکی (سینگلاریتی) آنومالی‌های ضعیف مس در منطقه را شناسایی کردند. از این‌رو، این مطالعه، پیشبردی را برای تجمیع کلیدهای اکتشافی و تلفیقی به‌منظور نقشه‌ای واحد اکتشافی ارائه می‌نماید.

۲- منطقه مورد مطالعه

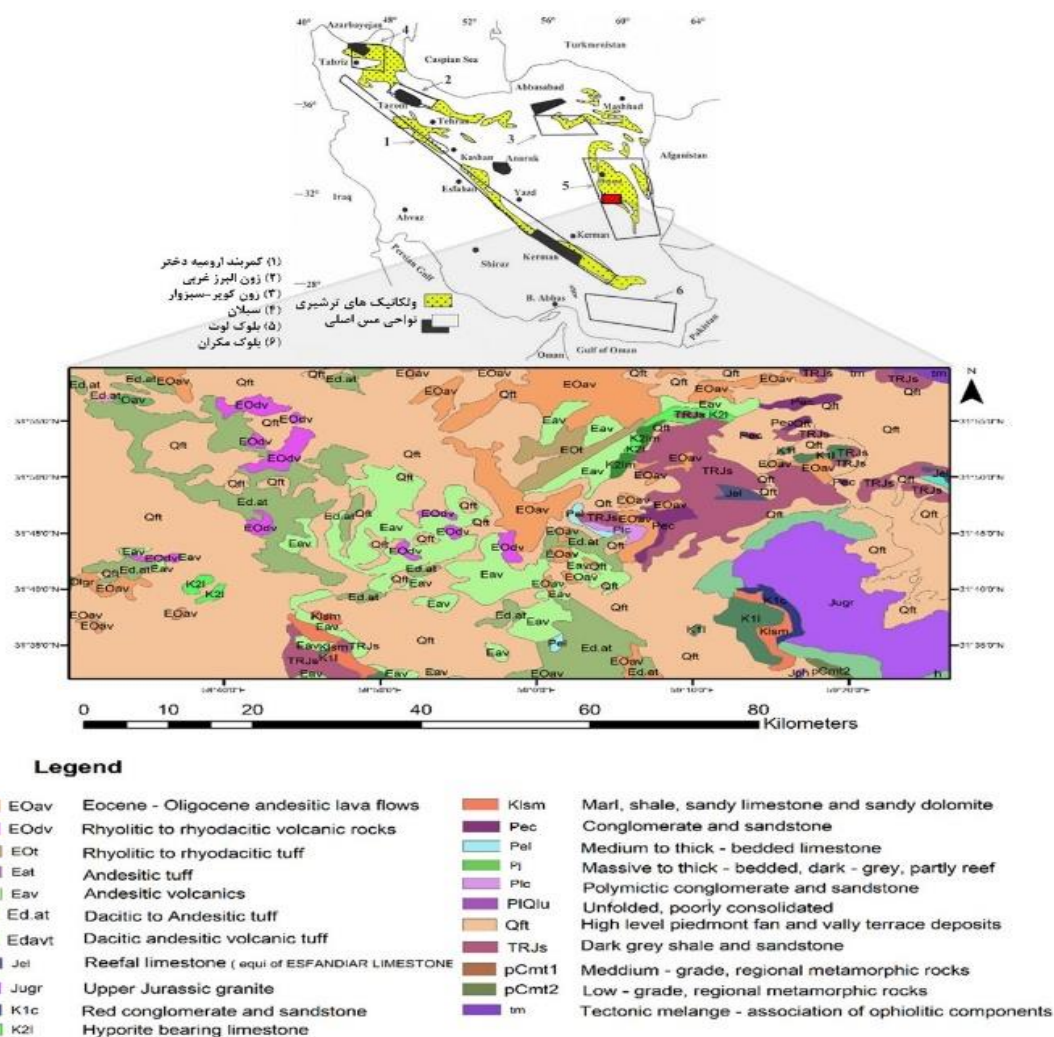
بلوک لوت با طول حدودی ۹۰۰ کیلومتر در بخش شرقی ایران قرار دارد که مرز شرقی آن را گسل نهبدان و حوضه فلیش شرو ایران و مرز غربی آن را گسل نایبند و بلوک طیس مشخص کرده‌اند. مرز شمالی این بلوک به فروافتادگی جنوب کاشمر و مرز جنوبی آن به فرونشست جازموریان بسته می‌شود. منطقه مورد مطالعه شامل منطقه بصیران، میغان، قلعه زری و کودکان در شمال دهسلم و در جنوب این کمربند قرار دارد. در شکل ۱ منطقه قرارگیری این محدوده و همچنین نقشه ساده‌شده زمین‌شناسی، شرح داده شده است [۱۰].

این منطقه در نواحی شرقی بلوک لوت واقع شده است. مهم‌ترین ویژگی شرق لوت که آن را از دیگر بخش‌های خرد قاره ایران مرکزی جدا می‌کند، وجود حجم عظیم ماگماتیسیم ترشیاری، به‌ویژه سنگ‌های آتشفشانی است که با داشتن ضخامتی در حدود ۲۰۰۰ متر بیش از نیمی از بلوک لوت را

با افزایش تقاضا برای مواد اولیه، ارائه راهکارهای مؤثر برای اکتشاف مواد معدنی از ضروریات علوم زمین قلمداد می‌شود. روش‌های متنوع دوربرد و زمینی مانند سنجش‌ازدور و انواع روش‌های ژئوشیمیایی و ژئوفیزیکی برای شناسایی ذخایر استفاده می‌شوند [۱]. ژئوشیمی از گام‌های اصلی یک فرآیند اکتشافی است. از شاخص‌های اصلی ژئوشیمی اکتشافی، شناسایی ذخایر پنهان و الگوهای مهاجرت شیمیایی است [۲]. بر همین اساس روش‌های اکتشافی ژئوشیمیایی به‌منظور شناسایی ذخایر با عمق بالا دست‌خوش پیچیدگی‌های فراوان شده است [۳]. ژئوشیمی معادن شاخه‌ای از ژئوشیمی کاربردی محسوب می‌شود که فرآیندهای ژئوشیمیایی را از لحظه تشکیل ماده معدنی تا جدیدترین فرآیندهای ثانویه (مهاجرت عناصر ناشی از عمل پدیده‌های ساخت بشر) مطالعه می‌کند [۴]. این مهاجرت‌ها در سیستم‌های ژئوسفر (لیتوسفر- هیدروسفر- بیوسفر- اتمسفر و نتوسفر) زونالیت ژئوشیمیایی عناصر را از فرم میکرو (کانی‌ها) تا ماکرو (کانسارها) در میدان‌های ژئوشیمیایی ایجاد می‌کند. برحسب سازوکار مهاجرت (مکانیکی، فیزیکی و شیمیایی، بیوژنی، تکنولوژیکی) سیستم‌ها و سدهای متفاوت ژئوشیمیایی سازنده انواع اصلی دورنمای ژئوشیمیایی‌اند؛ بنابراین بررسی مطالعه ترمودینامیک فرآیندهای ژئوشیمیایی نقش اساسی را در درک این مهاجرت‌ها و ارائه مدل هر یک از این سیستم‌ها دارد [۵]. ذخایر پورفیری جزو اصلی‌ترین منابع تأمین مس، مولیبدن، طلا و نقره در جهان است. همچنین فلزهای جانبی عمدتاً در ذخایر پورفیری یافت می‌شود [۶]. هاله‌های اولیه ذخایر معدنی که در نتیجه فعل‌وانفعالات بین سنگ میزبان و سیال کانی‌ساز به وجود می‌آید، با تهی‌شدگی یا غنی‌شدگی عناصر و فلزات و یا آلتراسیون‌ها مشخص می‌شوند [۷] همواره ارائه مدلی کارآمد جهت شناسایی کانی‌زایی‌های پنهان مرتبط با ذخایر پورفیری چالشی اساسی در مناطق با پتانسیل کانی‌زایی مس بوده است. منطقه بصیران-کودگان که از نواحی با احتمال کانی‌زایی فلزی بالا، با توجه به وجود رخدادهای معدنی متعدد در منطقه، نیازمند شناسایی نواحی مستعد اکتشاف مس برای مطالعات دقیق‌تر است. این منطقه که در بلوک لوت و زون سیستان واقع است می‌تواند رفتار ژئوشیمیایی خود را با روش زونالیت برای پرسپکتیو اکتشافی

سنگ های نفوذی و نیمه نفوذی حد واسط تا اسیدی در واحدهای آتشفشانی ائوسن الیگوسن نفوذ کرده و از مناطق امیدبخش برای کانی سازی است. شناسایی مناطق احتمالی کانی سازی به کمک پردازش تصاویر ماهواره ای، وجود دگرسانی های پروپیلیتیک، آرژیلیک، سربستییک و تشکیل اکسیدهای آهن را در منطقه نشان می دهد [۱۳، ۱۴].

می پوشاند. وجود فعالیت ماگمایی گستره با ویژگی های ژئوشیمیایی متفاوت در نقاب مختلف باعث شده است تا بلوک لوت پتانسیل بسیار مناسبی برای تشکیل انواع کانی سازی های فلزی و غیرفلزی داشته باشد [۱۱، ۱۲]. منطقه مورد مطالعه در شمال شرقی بلوک لوت و از بخش غربی کمر بند متالوژنی قلعه زری-دهسلم است که ورق یکصد هزار بصیران و کودگان را در بر می گیرد. در این منطقه



شکل ۱: موقعیت منطقه مورد مطالعه در شرق ایران و نقشه زمین شناسی بصیران و کودگان با مقیاس یکصد هزارم

بر اساس این پردازش ها، اطلاعات مربوط به داده های ژئوشیمیایی رسوبات رودخانه ای در بخش هایی که احتمال کانی سازی بیشتری وجود داشت، بی هنجاری عناصر مس، روی، سرب، قلع، تنگستن و طلا و در جنوب غرب نیز بی هنجاری های قلع، تنگستن، روی، سرب و آهن شناسایی شده است [۱۳، ۱۵]. محدوده بصیران و کودگان در ۳۰۰ کیلومتری جنوب غربی بیرجند بخشی از مجموعه ماگماتیسم ترشیاری است که میزبان کانی سازی های

اپی ترمال شده است. مطابق شکل ۱ زمین شناسی محدوده شامل سنگ های رسوبی و دگرگون شده کرتاسه و واحدهای آتشفشانی ائوسن است که مورد نفوذ توده های مونزونیتی تا دیوریتی با سن ائوسن تا الیگوسن قرار گرفته اند ترسیم شده. پردازش تصویر ماهواره ای همچنین کانی های کائولینیت، سربست، کوارتز، کلریت آهن دار، کلریت منیزیم دار و اپیدوت را بارز کرده است [۱۳، ۱۶]. ناهنجاری های زمین شیمیایی از عناصر مس، سرب، روی و آرسنیک در کلیه آبراهه های

سالوف و گریگوریان از شاخص زونالیت و شاخص کانی سازی استفاده نمودند [۲۰]. در شبکه سیستماتیک نمونه برداری تولید خطی در یک پروفیل طولی از رابطه (۱) و تولید سطحی آن از رابطه (۲) پیروی می‌کند.

$$M = \Delta x \left(\sum_{x=1}^n C_x - nC_0 \right) \quad (1)$$

$$P = 2l \sum_{i=1}^m M_i \quad (2)$$

در این روابط M و P به ترتیب تولید خطی و تولید سطحی، Δx فاصله بین نمونه‌ها در طول پروفیل، C_x غلظت هر نمونه آنومال، n تعداد نمونه‌های آنومال، C غلظت زمینه، $2l$ فاصله بین دو پروفایل و m تعداد پروفایل‌ها است.

شاخص زونالیت از نسبت تولید سطحی عناصر فوق کانساری به تولید سطحی عناصر تحت کانساری در هر آنومالی موجود به وسیله رابطه (۳) و (۴) به دست می‌آید.

$$k_{p1} = \frac{P(Pb) \times P(Zn)}{P(Cu) \times P(Mo)} \quad (3)$$

$$k_{p2} = \frac{P(Pb) \times P(Zn)}{P(Cu) \times P(Ag)} \quad (4)$$

به منظور استحصال شاخص زونالیت به روش گریگوریان بایستی ضریبی تحت عنوان ضریب کانی سازی برای هر عنصر در شاخص زونالیت ضرب شود. اگر کل نمونه‌های یک زون برابر $\eta_a(a)$ و تعداد نمونه‌های آنومالی برابر $\eta_a(a)Ore$ در نظر گرفته شود نسبت بین این دو شاخص به عنوان ضریب کانی سازی معرفی می‌شود که مطابق رابطه (۵) است.

$$\eta(\alpha) = \frac{\eta_a(\alpha)ore}{\eta_a(\alpha)} \quad (5)$$

این ضریب برابر با مقدار نمونه‌های آنومال مربوط به هر عنصر در هر کدام از زون‌ها نسبت به تعداد نمونه‌های موجود در زون تفکیک شده است. مقدار ضریب کانی سازی برای هر عنصر باید در میانگین غلظت آن عنصر (CA) در هر آنومالی ضرب شود و در فرمول شاخص زونالیت رابطه (۶) و (۷) قرار گیرد.

$$KC1 = \frac{\eta(a)Pb \times \overline{CAPb} \times \eta(a)Zn \times \overline{CAZn}}{\eta(a)Cu \times \overline{CACu} \times \eta(a)Mo \times \overline{CAMo}} \quad (6)$$

$$KC2 = \frac{\eta(a)Pb \times \overline{CAPb} \times \eta(a)Zn \times \overline{CAZn}}{\eta(a)Cu \times \overline{CACu} \times \eta(a)Ag \times \overline{CAAg}} \quad (7)$$

ضیائی و کارنزا در مطالعات شاخص مدلی را به منظور

منطقه مشاهده می‌شود. آثار کانی سازی نیز در برخی مناطق وجود دارد. با نفوذ واحدهای نیمه عمیق به داخل سنگ‌های آتشفشانی و کربناته به شدت آلتزه شده و ناهنجاری‌های زمین‌شناسی ایجاد شده و کانی‌سازی‌های مختلف در آن شکل گرفته است [۱۱، ۱۷].

۳- روش‌شناسی

۳-۱- تئوری زونالیت

زون‌بندی هاله ژئوشیمیایی یک طبیعت فضایی و مفهوم جهتی است که می‌توان با سه پارامتر بعد (فضا)، جهت و غلظت عنصر تعریف شود [۱۸]. در اطراف یک توده کانسار سه نوع طبقه‌بندی هاله اولیه در جهت طولی، عرضی و محوری وجود دارد. در کانسارهایی با شیب زیاد منطقه‌بندی محوری منطبق بر منطقه‌بندی قائم است و در کانسارهایی با شیب کم بر منطقه‌بندی افقی منطبق است [۱۹]. بئوس و گریگوریان چندین روش تجربی را برای منطقه‌بندی کمی هاله‌های ژئوشیمیایی در مقطع محوری معرفی کردند. یکی از روش‌هایی که در پژوهش‌های زمین‌شناسی استفاده می‌شود بررسی میانگین نسبت غلظت به عنوان تابعی از عمق در مقطع عمودی است [۱۹]. روش دیگر محاسبه تولید خطی است که به دلیل گسترده‌تر بودن داده‌های سطحی به این روش توجه بیشتری شده است و با کاربرد آن هاله‌ها به طور بارزتری مشخص می‌شوند. استفاده از قدرت تولید خطی به جای نسبت مقدار میانگین عناصر اولین بار توسط سوچوانوف^۱ برای مطالعه منطقه‌بندی‌ها در مقاطع عرضی پیشنهاد شد. در این روش عرض هاله‌های ژئوشیمیایی در اعماق مختلف در نظر گرفته می‌شود [۳۲].

۳-۲- زونالیت ژئوشیمیایی

در ژئوشیمی اکتشافی قابل اطمینان‌ترین ملاک برای تشخیص هاله‌های اولیه فوق کانساری، سطح فرسایش نهشته و عمق احتمالی آن از طریق منطقه‌بندی اندیس‌های کانسار است. منطقه‌بندی عنصری بر اساس محاسبه شاخص زونالیت به کار می‌رود (شکل ۳). شاخص زونالیت از نسبت غلظت عناصر معرف در قسمت‌های بالایی کانسار به غلظت این عناصر در قسمت‌های پایینی کانسار به دست می‌آید [۸]. به منظور تعدیل پارامترهای سین‌ژنتیک در هاله‌های ژئوشیمیایی و جداسازی بخش مطلوب از بخش نامطلوب،

تشخیص تغییرات روند این شاخص نسبت عمق طراحی نمودند که در ادامه شرح داده شده است [۴].

۳-۳- روش تکنیکی (سینگولاریتی)

سینگولاریتی به عنوان یک ویژگی مهم در فرایندها یا سیستم های طبیعی غیرخطی در شاخه های مختلف علوم زمین مانند تشکیل ابرها، سیل، طوفان، رانش زمین و تشکیل ذخایر هیدروترمال است که از نظر کاربرد زمین شناسی می تواند به عنوان یک پدیده خاص با مقدار آنومالی انرژی رهاسده یا مواد تجمع یافته در فاصله زمانی- مکانی کوتاه تعریف شود. در فرآیند کانی سازی معمولاً مقدار زیادی عناصر فلزی در مدت زمان کوتاه (در مقایسه با مقیاس زمانی زمین شناسی) و در محدوده کوچکی (نسبت به گسترش زمین) رخ- پایه ارتباط مولتی- فرکتالی بین چگالی فلز و مساحت مربوط به آن است که اولین بار توسط چنگ در سال ۲۰۰۶ مطرح شد [۲۲]. در روش سینگولاریتی با بررسی تغییرات غلظت عنصر با تغییر مساحت، تهی شدگی و غنی شدگی عناصر مشخص می شود در شکل ۲ رابطه فرکتالی بین این متغیرها از رابطه (۸) و (۹) به دست می آید.

$$\mu(A) = aA^{\frac{a}{2}} \quad (8)$$

$$C(A) = aA^{\frac{a}{2}-1} \quad (9)$$

که در آن $\mu(A)$ مقدار کل فلز در سطح A و $C(A)$ چگالی فلز در مساحت A و a مقدار سینگولاریتی محلی است. برای تعیین a مربع هایی با مرکز ثابت در اندازه های

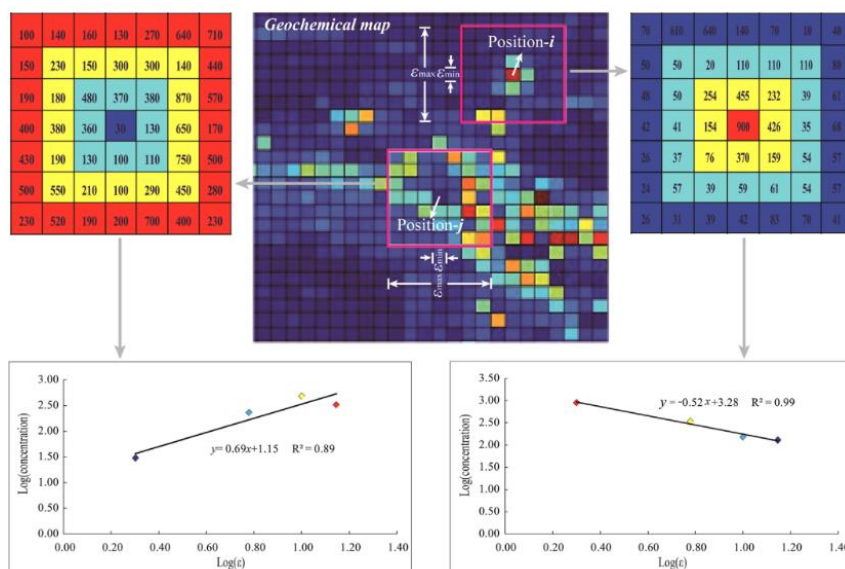
$$\varepsilon_{min} = \varepsilon_1 < \varepsilon_2 < \dots < \varepsilon_n \quad (10)$$

$$= \varepsilon_{max}(i = 1, 2, 3, \dots, n)$$

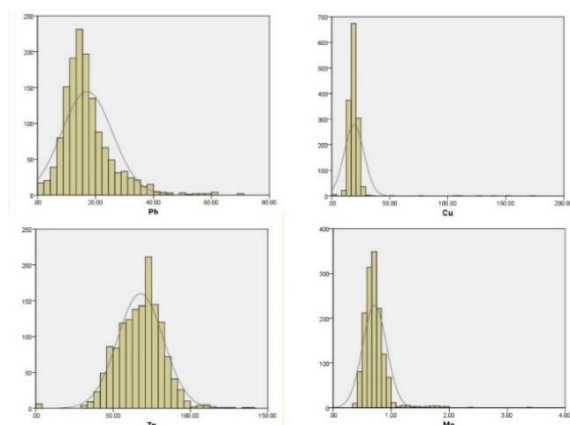
که در آن N برابر تعداد پنجره ها و ε_{min} کوچک ترین اندازه پنجره و ε_{max} سایز بزرگ ترین پنجره است. سپس مقدار $\rho[A(\varepsilon_i)]$ مربوط به محدوده $A(\varepsilon_i) = \varepsilon_i^2$ محاسبه می شود. نمودار لگاریتمی ارتباط خطی بین $\rho[A(\varepsilon_i)]$ و ε_i از رابطه (۱۰) به دست می آید. با گرفتن لگاریتم از رابطه (۱۰) رابطه بین سایز هر پنجره و میانگین غلظت آن به صورت رابطه (۱۱) خواهد بود؛ که در آن c مقداری ثابت است، شیب خط برازش شده برابر $a-2$ خواهد شد. در شکل ۲ پنجره حرکت می کند و به طور مشابه مقدار سینگولاریتی برای تمام نقاط موجود در منطقه محاسبه می شود.

$$\log C[A(\varepsilon_i)] = C + (a - 2) \log \varepsilon_i \quad (11)$$

چنانچه با افزایش سایز پنجره غلظت میانگین افزایش یابد، شیب خط مثبت ($a > 2$) تهی شدگی را نشان می دهد. همچنین مقادیر ($a < 2$) بیانگر غنی شدگی در آن نقطه است. شکل ۲ مثالی از میانگین پنجره متحرک با پنجره هایی با اندازه ۳*۳، ۵*۵ و ۷*۷ (متر) برای تخمین غنی شدگی و تهی شدگی به کار برده شده. نمودارهای مشخص شده در شکل ۲ نیز گویای ارتباط بین سایز پنجره ها و میانگین غلظت در هر پنجره است [۲].



شکل ۲: عملکرد پنجره متحرک در روش سینگولاریتی

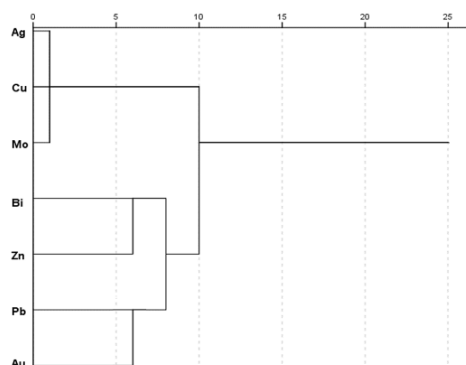


شکل ۴: هیستوگرام تک متغیر عناصر سرب، روی، مس و مولیبدن

داده‌های مربوط به عناصر سرب، روی، مس، مولیبدن، بیسموت، طلا و نقره در نرم‌افزار spss به روش Distribution نرمال‌سازی شد. سپس به‌منظور سهولت در برخی محاسبات داده‌ها به شکل استاندارد تبدیل شد.

۴-۲- پردازش و بررسی

نمودار تجزیه و تحلیل خوشه‌بندی سلسله مراتبی (HCA) در رابطه با عناصر Ag، Au، Zn، Pb، Mo، Sn و Cu ترسیم شد. همان‌طور که در شکل ۵ نشان داده شده است، نمودار رابطه مستقیم Ag، Cu، Mo را به‌عنوان یک شاخه، Zn، Bi و Pb و Au را به‌عنوان شاخه دیگر نشان می‌دهد.



شکل ۵: دندوگرام تحلیل خوشه‌بندی سلسله مراتبی

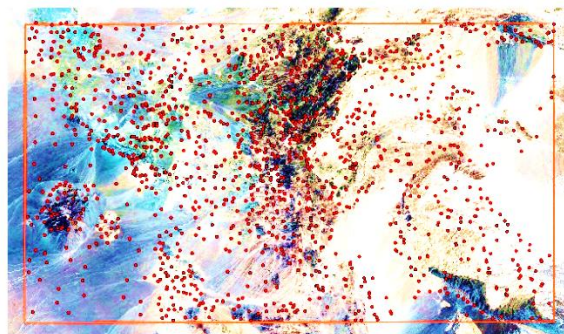
در ذخایر مس پورفیری عناصر سرب، روی و بیسموت در هاله‌های فوق کانساری و عناصر مس، مولیبدن و نقره در هاله‌های تحت کانساری بیشترین غلظت را دارند [۲۳].

ضیائی و همکاران در سال ۲۰۰۶ [۱، ۲۴] با مطالعه ۴ ذخیره مس-طلا پورفیری آکتوجی در قزاقستان، آسارل در بلغارستان، تکوت در ارمنستان و ذخیره سونگون در ایران عناصر سرب، روی و بیسموت را به‌عنوان عناصر فوق کانساری و مس، مولیبدن و نقره را عناصر تحت عنصری در این دسته

۴- تحلیل نتایج

۴-۱- پیش‌پردازش داده‌ها

در این پژوهش، تعداد ۱۴۲۸ نمونه از رسوبات آبراهه‌ای به‌منظور شناسایی نواحی پتانسیل‌دار معدنی در خراسان جنوبی شامل تعداد ۸۹۳ نمونه رسوبات آبراهه‌ای برگه بصیران و همچنین تعداد ۵۳۵ نمونه رسوبات آبراهه‌ای برگه کودگان مورد مطالعه قرار گرفت (شکل ۳).



شکل ۳: پراکندگی نقاط برداشت‌شده

با نظر به اهداف این پژوهش میزان غلظت شش عنصر مس، مولیبدن، سرب، روی، نقره و بیسموت مورد بررسی قرار گرفت. پارامترهای آماری این عناصر در جدول ۱ قید شده است.

جدول ۱: پارامترهای آماری عناصر مورد بررسی (ppm)

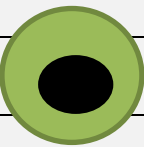
عنصر	ماکزیمم	مینیمم	میانگین	انحراف معیار
Bi	۱۶۹۶	۰٫۱	۰٫۴	۰٫۷
Mo	۳٫۳	۰٫۳	۰٫۷	۰٫۲
Ag	۱٫۷	۰٫۰۱	۰٫۱۳	۰٫۱
Pb	۷۰	۰٫۱۵	۱۷٫۱۴	۸٫۷
Cu	۱۷۱	۰٫۰۹	۱۹٫۵۳	۸٫۵
Zn	۱۴۰٫۴	۰٫۱۴	۶۸٫۷	۱۴٫۸

نمونه‌های برداشت‌شده اغلب از رسوبات آبراهه‌ای توسط سازمان زمین‌شناسی و بهره‌برداران معادن در منطقه برداشت شده است.

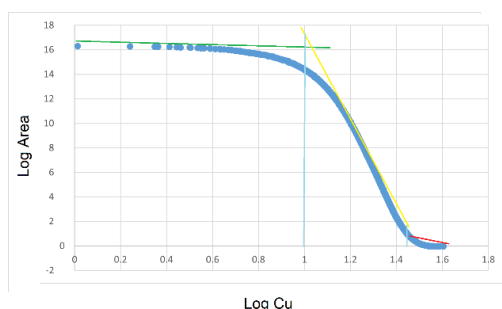
به هدف جاگزینی داده‌های سنسورد در نرم‌افزار SPSS چارک‌های اول و سوم شناسایی شد و داده‌های خارج از این بازه در صورت انطباق با برآورد چگالی کرنل KDE شناسایی و اصلاح شد. همچنین هیستوگرام تک متغیره داده‌های خام عناصر مهم در شاخص‌های زونالیتیه مطابق شکل ۴ محاسبه و ترسیم شد.

از ذخایر معرفی کردند. با توجه به عناصر فوق کانساری و تحت کانساری با $VZ_3 = Pb \times Zn \times Bi / Cu \times Ag \times Mo$ (جدول ۲) [۱]. می توان پتانسیل کانی زایی پورفیری و همچنین

جدول ۲: مدل شاخص زونالیتیه قائم برای ذخایر مس پورفیری بر پایه ذخایر مس پورفیری استاندارد در قزاقستان، بلغارستان، ارمنستان و ایران

Erosional surface		Vertical section	$V_{z1} = \frac{zn \times Pb}{cu \times Mo}$	$V_{z2} = \frac{Pb \times zn}{Cu \times Ag}$	$V_{z3} = \frac{Pb \times Zn \times Bi}{Cu \times Mo \times Ag}$
Supra-ore	I		>5	>100	>1
Upper-ore	II		5-0.5	100-10	1-0.1
ore	III		0.5-0.05	10-1	0.1-0.01
ore	IV		0.05-0.005	1-0.1	0.01-0.001
Lower-ore	V		0.005-0.0005	0.1-0.001	0.001-0.0001
Sub-ore	VI		<0.0005	<0.001	<0.0001
		Contrast Vz(1) Vz(2)	10000	10000	10000

برای عنصر موردنظر محاسبه کنیم باید عبارات لگاریتمی شده را به صورت صعودی به نزولی مرتب کنیم. در میان عبارات تکراری فقط یک عیار به همراه مجموع مساحت همه سلول هایی که آن عیار را دارند در جدول باقی می ماند. سپس لازم است برای هر عیار معین لگاریتم مساحت به صورت تجمعی محاسبه شوند. پس از انجام این محاسبات می توان نمودار لگاریتمی عیار را در برابر لگاریتم مساحت تجمعی ترسیم نمود، با توجه به اساس تئوری فرکتالی هر چه عیار بیش تر باشد مساحت کمتری را اشغال می کند و هر چه مقدار عیار کمتر باشد مساحت اشغال شده بیش تر می شود. در نهایت بر اساس نقاط شکست مطابق شکل ۶ و شکل ۸ بر روی نمودار تمام لگاریتمی هر جامعه مشخص می شود [۲۵].



شکل ۶: تعیین حد زمینه و آنومالی عنصر مس به وسیله نمودار تمام لگاریتمی عیار-مساحت

جدول ۳: حد غنی شدگی، زمینه، تهی شدگی عنصر مس

Log(Cu)	آستانه
تهی شدگی	$X < 1$
زمینه	$1 < X < 1.45$
غنی شدگی	$1.45 < X$

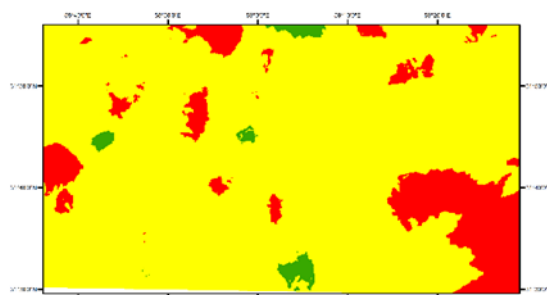
نقشه ی پراکندگی عناصر تأثیرگذار در شاخص های زونالیتیه در دو ورق یکصد هزار بصیران و کودگان (شعاع ۵۰ کیلومتری معدن قلعه زری) در ادامه شرح داده شده است. به منظور تعیین حد آستانه آنومالی عناصر در منطقه مورد بررسی از روش نمودار تمام لگاریتمی عیار مساحت استفاده شده است. به طور کلی می توان عنوان کرد که روش فرکتالی عیار - مساحت یک تکنیک پایه ای برای مدل سازی آنومالی های ژئوشیمیایی است [۳]. توزیع مولتی فرکتالی مربوط به عبارات عناصر می تواند به معنای راهی برای تعیین کمی حدود آستانه ای و جوامع زمینه و آنومالی تلقی شود. در روش عیار-مساحت روابط نمایی بین عیار و مساحت تجمعی متناظر که بیانگر بعد فرکتالی الگوهای مورد بررسی است، مورد توجه واقع شده است. برای به کار بردن روش فرکتالی عیار - مساحت ابتدا لازم است نقشه توزیع پراکندگی عنصر موردنظر رسم گردد سپس بر اساس فاصله بین نمونه های رسوبات آبراه های نقشه کنترولی عنصر مربوطه شبکه بندی گردد تا مقادیر عیار و مساحت هر خط تراز قابل محاسبه باشد. برای محاسبه عیار هر شبکه روش های مختلفی همچون عکس مجذور فاصله، کریجینگ و... برای درون یابی داده ها وجود دارد که بسته به نوع داده ها مورد استفاده قرار می گیرد.

برای تهیه نقشه پراکندگی تهیه شده در این مطالعات از روش زمین آماری کریجینگ در محیط نرم افزاری Arc map استفاده شده است. حال پس از رسم نقشه شبکه بندی داده ها عیار هر شبکه و مساحت محصور در آن شبکه مشخص است. چنانچه بخواهیم روش نمودار لگاریتمی عیار - مساحت را

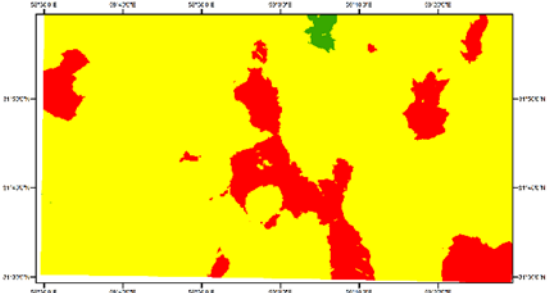
جدول ۴: حد غنی‌شدگی و تهی‌شدگی عناصر سرب و روی

آستانه	عنصر	
	Log(Pb)	Log(Zn)
تهی‌شدگی	$X < 1.1$	$X < 1.8$
زمینه	$1.1 < X < 1.38$	$1.1 < X < 1.95$
غنی‌شدگی	$1.38 < X$	$1.95 < X$

مطابق شکل ۹ نقشه توزیع ژئوشیمیایی مقادیر غنی از عنصر سرب از جنوب تا مرکز امتداد داشته و آنومالی‌های پراکنده در شرق و غرب دیده می‌شود. همچنین غنی‌شدگی قوی عنصر سرب و روی در مناطق جنوب شرقی منطقه مشاهده شد. با توجه به وجود همبستگی سرب و روی در دندوگرام تحلیل خوشه‌بندی سلسله مراتبی محاسبه شده. وجود آنومالی مشترک این دو عنصر در برخی مناطق مرکزی و غربی و جنوب شرقی مشاهده شد که گویای صحت دندوگرام ترسیم‌شده است.



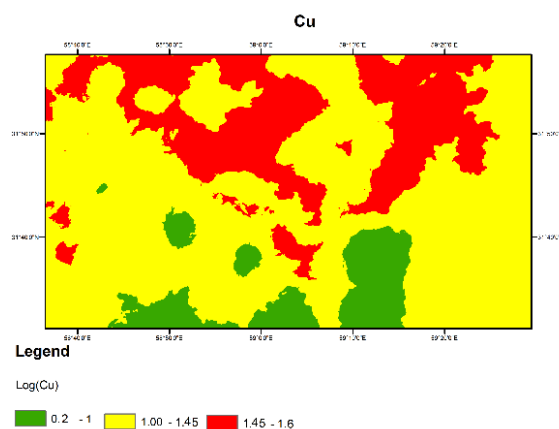
شکل ۹: الف) نقشه پراکندگی عنصر روی (ب) نقشه پراکندگی عنصر سرب



شکل ۹: الف) نقشه پراکندگی عنصر روی (ب) نقشه پراکندگی عنصر سرب

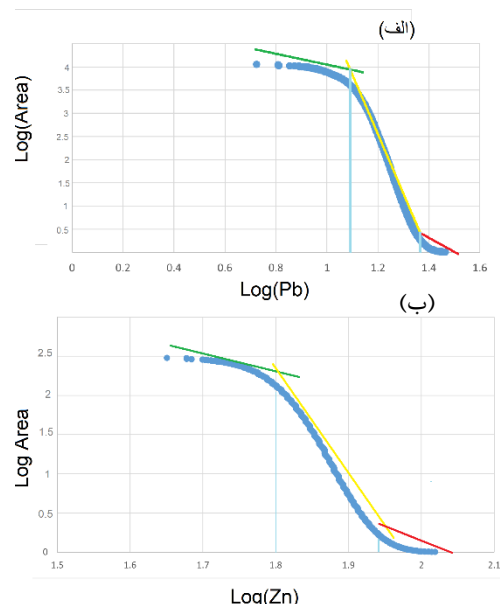
به‌منظور محاسبه شاخص فوق کانساری از داده‌های استاندارد و نرمال شده سرب و روی و بیسموت استفاده شد همچنین برای محاسبه‌ی شاخص تحت کانساری، داده‌های استاندارد و نرمال شده‌ی مس و مولیبدن و نقره بکار گرفته

با توجه به مقادیر حد آنومالی به‌دست‌آمده در نمودار شکل ۶، جدول ۳ به دست آمد و نقشه‌ی پراکندگی عنصر مس با روش کریجینگ مطابق شکل ۷ ترسیم شد.

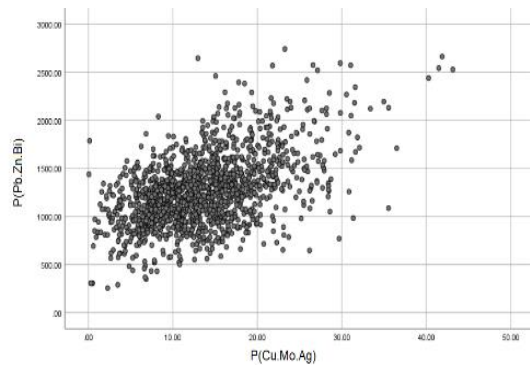


شکل ۷: نقشه‌ی پراکندگی عنصر مس

از لایه پراکندگی عنصر مس به‌عنوان یکی از پارامترهای وزن دهی در روش سلسله مراتبی AHP استفاده شده است. حد آنومالی در عناصر مؤثر در شاخص‌های زونالیت‌ها شامل سرب و روی نیز به‌وسیله‌ی نمودار تمام لگاریتمی عیار-مساحت مطابق شکل ۸ محاسبه شد. همچنین تمامی محاسبات بر روی داده‌های نرمال شده صورت گرفته است. پس از ترسیم نمودارهای شکل ۸، حد غنی‌شدگی و تهی‌شدگی عناصر سرب و روی مطابق جدول ۴ به دست آمد.



شکل ۸: الف) تعیین حد آنومالی عناصر سرب (ب) تعیین حد آنومالی عناصر روی



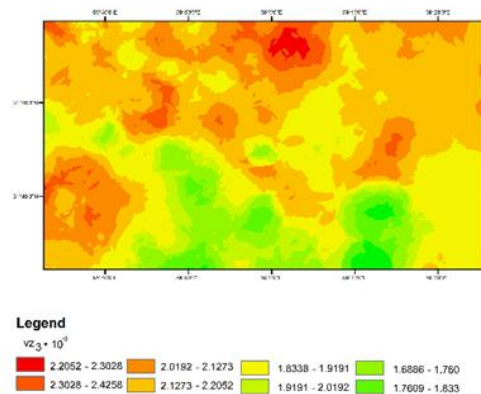
شکل ۱۱: نمودار همبستگی شاخص فوق و تحت کانساری پیرسون

جدول ۵: شاخص همبستگی پیرسون در شاخص های فوق و

تحت کانساری

Correlations			
		Up	Sub
Up	Pearson correlation	1	525**
	Sig. (2-tailed)		000
	N	1428	1428
Sub	Pearson correlation	525**	
	Sig. (2-tailed)	000	
	N	1428	1428

به منظور تشخیص سطح فرسایش از مدل ارائه شده زونالیته برای ذخایر مس-طلا پورفیری به روش گریگوریان - ضیایی استفاده شد [۱]. نقشه ی پراکندگی شاخص زونالیته در ۸ بازه کلاسه بندی و مطابق شکل ۱۲ ترسیم شد.

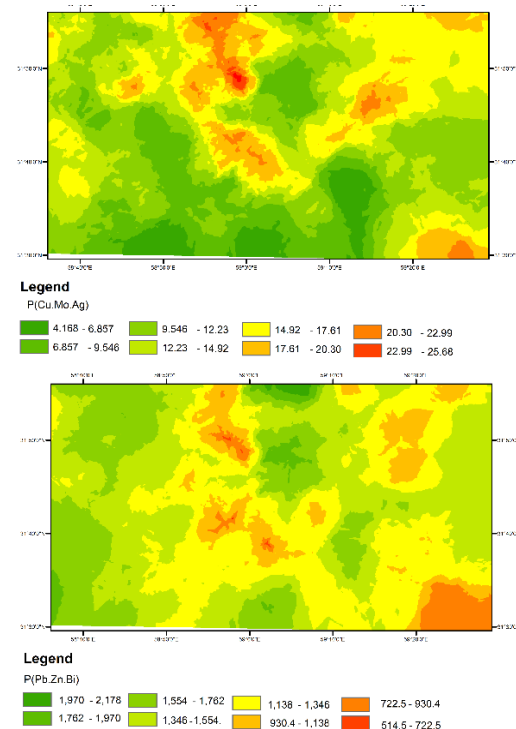


شکل ۱۲: نقشه ی پراکندگی شاخص زونالیته

شاخص زونالیته از جنوب به شمال در منطقه ی مورد بررسی افزایش می یابد، افزایش شاخص زونالیته بیانگر بالا رفتن احتمال کانی زایی پنهان در عمق است همچنین کاهش شاخص زونالیته در مناطق جنوبی بیانگر بالا بودن سطح فرسایش در زون کانی زایی است.

از نقشه ی پراکندگی شاخص زونالیته به عنوان یکی از پارامترهای وزن دهی در روش سلسله مراتبی AHP استفاده

شد. خروجی محاسبات در ۸ دسته کلاسه بندی شد و نقشه پراکندگی شاخص های فوق کانساری و تحت کانساری در محیط نرم افزاری GIS مطابق شکل ۱۰ ترسیم شد.



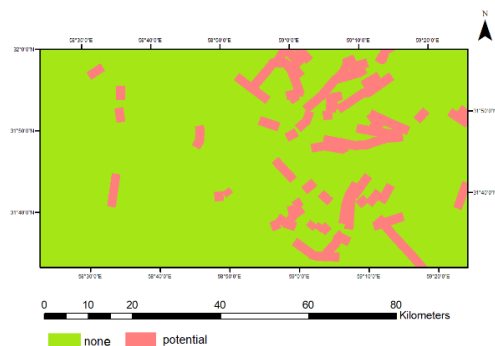
شکل ۱۰: الف) نقشه ی پراکندگی شاخص های تحت کانساری (ب) نقشه ی پراکندگی شاخص های تحت کانساری

مناطق دارای آنومالی در هر دو شاخص فوق و تحت کانساری گویای غنی شدگی عناصر سرب، روی، مس، نقره، بیسموت می باشند. به تفسیری نشانه های عوامل کانی زایی در این نواحی مشهود است.

نمودار همبستگی پیرسون مطابق شکل ۱۱ نشان می دهد ضریب همبستگی پیرسون در رابطه با شاخص های فوق و تحت کانساری مطابق جدول ۵ معادل ۰/۵۲ به دست آمد. ضرایب بین ۰/۴ و ۰/۶ را همبستگی متوسط پیرسون در نظر گرفته می شود [۲۶]. به دلیل وجود نواحی دارای غنی شدگی مشترک در دو شاخص مورد بررسی از نقشه تلفیقی پراکندگی شاخص های فوق و تحت کانساری به عنوان یکی از پارامترهای وزن دهی در روش سلسله مراتبی AHP استفاده می شود.

ماگمایی در بالای زون‌های فروانش فعال تشکیل می‌شوند [۲۷]. توده‌های نفوذی الیگومیوسن می‌تواند میزبان کانسارهای مس-مولیبدن و مس-طلای پورفیری باشد [۲۸]؛ بنابراین لایه اطلاعاتی شاهد مربوط به فاصله از توده‌های نفوذی الیگو-میوسن مطابق شکل ۱۴ به‌عنوان یک‌لایه برای تلفیق نهایی در مدل‌سازی پتانسیل کانی‌زایی مس-طلا پورفیری مورد استفاده قرار گرفت.

کانی‌زایی مس-طلا پورفیری به‌صورت ساختاری توسط گسل‌ها و شکستگی‌ها کنترل می‌شود و تعدادی از گسل‌ها و شکستگی‌ها می‌توانند راهنمای اکتشافی مناسبی باشند. یکی از فاکتورهای هوازدگی و غنی‌شدگی در کانسارهای مس-طلا پورفیری، گسل‌ها و شکستگی‌ها هستند؛ به‌طوری‌که محلول‌های ماگمایی-هیدروترمال از طریق گسل‌ها و شکستگی‌ها بالا می‌آیند و باعث غنی‌شدگی کانی‌زایی مس-طلا پورفیری می‌شوند [۱۶، ۲۷]. نقشه پیوسته چگالی گسل نیز می‌تواند به‌عنوان یک‌لایه شاهد اطلاعاتی مناسب برای مدل‌سازی نهایی کانی‌زایی مس-طلا پورفیری مورد استفاده قرار گیرد [۲۹] (شکل ۱۵).

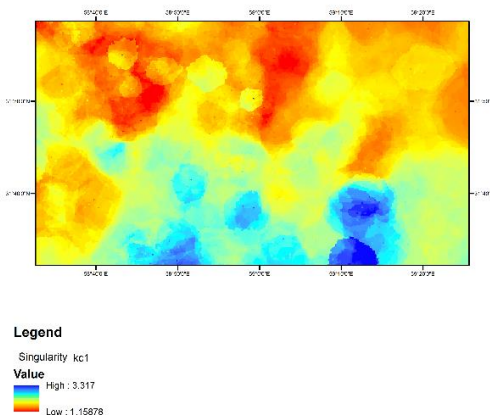


شکل ۱۵: نقشه گسل‌های اصلی با چگالی مؤثر تا فواصل ۵۰۰ متر

۴-۳- تلفیق و یکپارچه‌سازی نتایج

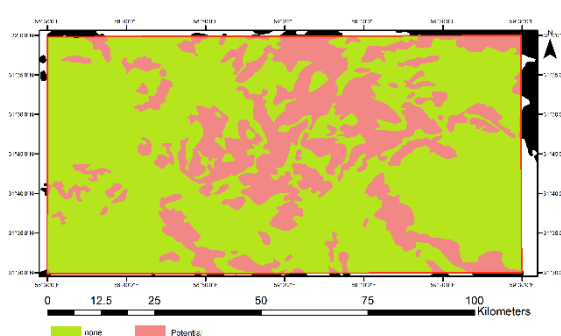
«فرآیند تحلیلی سلسله مراتبی» (Analytical Hierarchy Process) یا به اختصار AHP، ابزاری ریاضی برای حل مسئله‌هایی است که در سال ۲۰۰۰ میلادی توسط توماس^۲ معرفی شد. روش AHP پس از درک ساختار یک مسئله و مواجه‌شدن با موانع واقعی مدیران هنگام محاسبه برآیند شاخص‌های مؤثر در تصمیم‌گیری، ایجاد شد. در حقیقت AHP، ساختاری برای حل مسائلی است که باید به‌صورت تحلیلی حل شوند و شکلی لایه‌لایه دارند [۳۰، ۳۱].

شد. روش سینگولاریتی بر روی تولید سطحی KP1 در برگه یک‌صد هزار بصیران و کودگان مطابق شکل ۱۳ به دست آمد.



شکل ۱۳: نقشه حاصل از روش تکنیکی (سینگولاریتی) بر اساس تولید سطحی شاخص

با توجه به میانگین ۴۰۰ متری فواصل نمونه‌برداری پنجره‌هایی به مساحت ۲۵۰۰ مترمربع وزن‌گذاری شده به‌گونه‌ای که به‌طور متوسط در هر پنجره ۱ نقطه دارای مقادیر وزن دهی در اختیار باشد. نقشه به‌دست‌آمده برای مقادیر سینگولاریتی بالاتر از ۲ در شکل ۱۴ گویای پتانسیل کانی‌زایی پورفیری است. از نقشه روش تکنیکی (سینگولاریتی) به‌عنوان یکی از پارامترهای وزن‌دهی در روش سلسله مراتبی AHP استفاده شد.



شکل ۱۴: نقشه زمین‌شناسی دارای پتانسیل میزبانی ذخایر پورفیری

با استفاده از نقشه زمین‌شناسی مربوط به ورقه بصیران و کودگان که توسط سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی تهیه شده و همچنین با به‌کارگیری نرم‌افزار GIS واحدهای مختلف زمین‌شناسی به‌صورت دستی دیجیت شده و به‌صورت فایل شپ تهیه شده است. در بسیاری از کانسارهای مس-طلا پورفیری، به‌صورت ژنتیکی با ماگماهای کالک‌کالن حد واسط تا فلسپیک در قوس‌های آتشفشانی-

شکل ۱۶ ساختار سلسله مراتبی برای تعیین وزن مستعد کانی زایی مس-طلا پورفیری شرح داده شد.



شکل ۱۶: ساختار سلسله مراتبی برای تعیین وزن های دارای پتانسیل مس-طلا پورفیری

محاسبه ی وزن نسبی عوامل مؤثر در تعیین مناطق آنومالی دار در فرآیند تحلیل سلسله مراتبی، عوامل به صورت زوجی با بیشترین نقشی است که عوامل در داخل لایه ایفا می کنند. در وزن دهی معیارها از قضاوت های شفاهی که به صورت مقایسه ای بین عوامل صورت می گیرد، استفاده می شود. این قضاوت ها توسط ساعتی [۳۰،۳۲] به مقادیر کمی بین ۱ تا ۹ تبدیل شده که در جدول ۶ آمده است.

جدول ۶: مقادیر ترجیحات برای مقایسه زوجی عوامل مؤثر

concept	Numerical rating
Extremely more important	۹
Very strongly more important	۷
Strongly more important	۵
Moderately important	۳
Equally important	۱
Intermediate values	۸ و ۴ و ۲

همپوشانی لایه مربوط به نقشه پراکندگی شاخص فوق کانساری و تحت کانساری به عنوان یکی از زیر معیارهای تحلیل سلسله مراتبی به کار گرفته شد. با استفاده از معیارهای جدول ۷ و ۸ که به ترتیب شاخص های M1 و M2 نام گذاری شد، وزن دهی معیارهای اصلی در جدول ۹ شرح داده شد.

جدول ۷: ماتریس مقایسه زوجی برای معیارهای زمین شناسی (شاخص M1)

وزن	تکتونیک	زمین شناسی
۰/۵	۱	۱
۰/۵	۱	۱

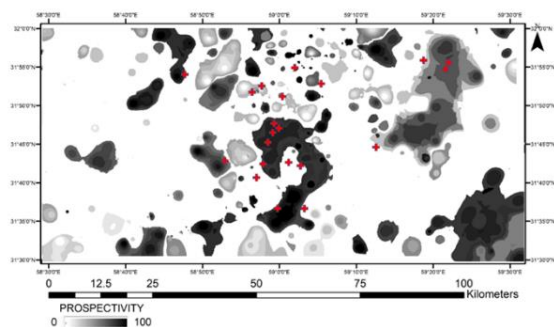
جدول ۸: ماتریس مقایسه زوجی برای شاخص های فوق و تحت کانساری (شاخص M2)

وزن	تحت کانساری	فوق کانساری
۰/۵	۱	۱
۰/۵	۱	۱

جدول ۹: ماتریس وزن دهی معیارهای اصلی در تلفیق سلسله مراتبی AHP

وزن دهی	زونالیته	سینگلاریتی	پراکندگی مس	M2	M1
M1	۰/۵۲	۴	۴	۳	۱
M2	۰/۱۹	۲	۲	۱	۰/۳۳
پراکندگی مس	۰/۱	۱	۱	۰/۵	۰/۲۵
سینگلاریتی	۰/۱	۱	۱	۰/۵	۰/۲۵
زونالیته	۰/۱	۱	۱	۰/۵	۰/۲۵

پس از تعیین وزن اولیه با توجه به مؤلفه های مؤثر در تعیین وزن های آنومالی و وزن های نهایی به دست آمده برای هر یک از این ضوابط، در این مرحله لازم است تا این لایه ها باهم تلفیق و بر اساس مدل های مناسب، کل محدوده از نظر میزان آنومالی رتبه بندی شود؛ به طوری که هرچه در خروجی نهایی، دامنه عدد بالاتری به دست آمده آید به معنای آنومالی دار بودن منطقه است. در بین گروه های مورد بررسی، زمین شناسی و تکتونیک ۰/۵۲، همپوشانی شاخص فوق و تحت کانساری ۰/۱۹ و پراکندگی عنصر مس و روش تکینگی (سینگلاریتی) و شاخص زونالیته هر کدام ۰/۱ در نظر گرفته شد؛ و نقشه حاصل از تلفیق این گروه ها در محیط GIS با توجه به وزن های محاسبه شده مطابق شکل ۱۷ است.



شکل ۱۷: نقشه پتانسیل مطلوب کانس سازی مس به روش AHP به همراه اندیس های معدنی منطقه

در نقشه خروجی تلفیق لایه ها مناطق دارای پتانسیل کانی زایی را به صورت طیف امتیازدهی ۰ تا ۱۰۰ نمایان شد و با استفاده از متغیرهای کمی و عددی، نقشه کیفی پتانسیل کانی زایی مس در منطقه به دست آمد.

۴-۴-۴ اعتبار سنجی مدل پتانسیل معدنی

به منظور اعتبار سنجی این پژوهش از ۲۲ اندیس فعالیت شناخته شده معدنی منطقه استفاده شده است. (شکل ۱۷)

ارزیاب است (جدول ۱۰). صحت تولیدکننده تعداد نمونه‌های طبقه‌بندی‌شده صحیح یک کلاس را نشان می‌دهد که بر تعداد کل نمونه‌های مرجع کلاس (کل ستون) تقسیم می‌شود؛ مقدار صحت تولیدکننده، احتمال طبقه‌بندی صحیح داده‌های میدانی را مطابق مدل پتانسیل معدنی نشان می‌دهد [۳۴]. صحت کاربر که از تقسیم تعداد نمونه‌های طبقه‌بندی‌شده به‌صورت صحیح در یک کلاس بر تعداد کل نمونه‌هایی که در کلاس طبقه‌بندی شده‌اند (کل ردیف) حاصل می‌شود، درصد صحت احتمال وجود نمونه‌ای از نقشه پتانسیل معدنی طبقه‌بندی‌شده را بر روی زمین نشان می‌دهد. بیشترین صحت تولیدکننده ۸۳ درصد به‌دست‌آمده است.

جدول ۱۰: ماتریس درهم‌ریختگی مدل پتانسیل معدنی در مقابل داده‌های میدانی (رخدادهای مس)

کلاس‌ها	نقاط کنترل میدانی (رخدادهای مس)				
	پتانسیل بالا	پتانسیل متوسط	پتانسیل پایین	مجموع	صحت کاربر (%)
پتانسیل بالا	۵	۰	۰	۵	۱۰۰
پتانسیل متوسط	۰	۴	۲	۶	۶۶
پتانسیل پایین	۱	۱	۹	۱۱	۸۲
مجموع	۶	۵	۱۱	۲۲	
صحت تولیدکننده (%)	۸۳	۸۰	۸۲		
صحت کلی			۰/۷۱ = ضریب توافق کاپا		
پتانسیل بالا	پتانسیل متوسط	پتانسیل پایین			
۹۲	۷۳	۸۲			

معدنی مس در منطقه، با استفاده از ۲۲ اندیس معدنی شناخته‌شده مرتبط با کانی‌زایی مس (به‌عنوان داده‌های میدانی) و به‌کارگیری روش ماتریس درهم‌ریختگی و ضریب توافق کاپا استفاده شد.

صحت کلی نواحی پر پتانسیل، پتانسیل متوسط و پتانسیل کم در این مطالعه به ترتیب ۹۲ درصد، ۷۳ درصد و ۸۲ درصد برآورد شد و همچنین ضریب توافق کاپا ۰/۷۱ محاسبه گردید که نشان از مطلوبیت مدل پتانسیل معدنی مس ارائه‌شده دارد. مدل نهایی کانی‌زایی مس-طلا پورفیری حاصل‌شده، می‌تواند برای مطالعات اکتشافی دقیق‌تر در محدوده مطالعاتی مورد‌استفاده قرار گیرد. پیشنهاد می‌شود با طراحی شبکه منظم نمونه‌برداری ژئوشیمیایی در محدوده‌های شناسایی‌شده، اکتشافات عمومی منطقه گسترش داده شود. محدوده مورد‌مطالعه در برگه‌های یکصد هزارم بصیران و کودکان واقع‌شده و کانسارهای پراکنده مس رگه‌ای در بسیاری از نواحی موردبررسی یافت شده است.

اندیس‌های معدنی شامل پیشکارهای استخراجی، ترانشه و نقاط حفاری‌شده اکتشافی و رخنمون‌های سطحی حاوی کانی‌های دارای مس از جمله ملاکیت، آزوریت، کالکوپیریت، کالکوزیت، پیروتین و بورنیت است.

ماتریس درهم‌ریختگی و ضریب توافق کاپا [۳۳،۳۵] برای نقشه پتانسیل معدنی در مقابل داده‌های میدانی (رخدادهای معدنی) محاسبه شد. مقایسه نقشه پتانسیل معدنی با داده‌های میدانی با استفاده از رویکرد ماتریس درهم‌ریختگی و ضریب توافق کاپا تطابق بسیار خوبی را نشان می‌دهد؛ در این بررسی دقت کلی برای کلاس‌های پتانسیل بالا، متوسط و پایین به ترتیب ۹۲، ۷۳ و ۸۲ درصد و ضریب کاپا ۰/۷۱ محاسبه شد که حاکی از توافق قابل‌توجه میان دو

۵- نتیجه‌گیری

منطقه بصیران-کودگان از مناطقی با پتانسیل کانی‌زایی مس در بلوک لوت و زون ساختاری سیستان است. این امر با حضور رخدادهای مس نمود بارزی می‌یابد. در این پژوهش با تلفیق شاخص‌های زونالیت و روش تکنیکی (سینگولاریتی) و همچنین با بهره‌گیری از اطلاعات زمین‌شناسی و زمین ساختاری به روش فرایند تحلیلی سلسله مراتبی AHP به‌عنوان یک روش تصمیم‌گیری چند معیاره برای کانی‌زایی مس-طلا پورفیری تهیه شد. در نقشه نهایی حاصل از تلفیق داده‌های مورد‌استفاده، مساحت ۴۹۰ کیلومترمربع دارای احتمال بالای ۵۰ درصد از طیف امتیازدهی خروجی نقشه تلفیق AHP مورد شناسایی قرار گرفت مقایسه آنومالی‌های حاصل‌شده از روش AHP با رخدادهای کانی‌زایی مس موجود در منطقه، حاکی از ارتباط فضایی مثبت این رخدادهای با آنومالی‌های به‌دست‌آمده است. اعتبارسنجی مدل پتانسیل

Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy inpress 2010.

[12] Ghorbani, M. The economic geology of Iran. Mineral deposits and natural resources. Springer 2013, 1-450.

[13] Maghfouri, S.; Hosseinzadeh, M.R. The early Cretaceous Mansourabad shale-carbonate hosted Zn-Pb (-Ag) deposit, central Iran: An example of vent-proximal sub-seafloor replacement SEDEX mineralization. Ore Geology Reviews 2018, 95, 20-39.

[14] Ghorbani, M. Lithostratigraphy of Iran; Springer: 2019.

[15] Ghorbani, M. Metallogenic and mining provinces, belts and zones of Iran. In The economic geology of Iran; Springer: 2013; pp. 199-295.

[16] Ghorbani, M. A summary of geology of Iran. In The economic geology of Iran; Springer: 2013; pp. 45-64.

[17] Shabani, A.; Ziaii, M.; shirazy, A.; shirazi, A. Multi-Dimensional Data Fusion for Mineral Prospectivity Mapping (MPM) Using Fuzzy-AHP Decision-Making Method, Kodegan-Basiran Region, East Iran. Minerals 2022, 12.

[18] Hamedani, G.; Ahsanullah, M. Characterizations of Weibull geometric distribution. Journal of Statistical Theory and Applications 2011, 10, 581-590.

[19] Xunde, H.; Dingyuan, Z. Geochemical zoning pattern of the Yinyan tin deposit. Journal of Geochemical Exploration 1989, 33, 109-119.

[20] Solovoy, A.P.; Kuznetov, V. Geochemical prospecting for mineral deposits; Mir Publ.: 1987.

[21] Gonçalves, M.A.; Mateus, A.; Pinto, F.; Vieira, R. Using multifractal modelling, singularity mapping, and geochemical indexes for targeting buried mineralization: Application to the W-Sn Panasqueira ore-system, Portugal. Journal of Geochemical Exploration 2018, 189, 42-53.

[22] Cheng, Q.; Harris, J. GIS-based multifractal anomaly analysis for prediction of mineralization and mineral deposits. Development of GIS in Geosciences. Special volume of GAC/MAC 2006, 289-300.

[23] Xiao, F.; Chen, Z.; Chen, J.; Zhou, Y. A batch sliding window method for local singularity mapping and its application for geochemical anomaly identification. Computers & geosciences 2016, 90, 189-201.

[24] Ziaii, M.; Pouyan, A.A.; Ziaii, M. Geochemical anomaly recognition using fuzzy C-means cluster analysis. Wseas transactions on systems 2006, 5, 2424-2429.

ازجمله اصلی ترین ذخایر مس رگه ای منطقه می توان به معدن مس قلعه زری اشاره نمود همچنین معدن طلای هیرد در شمال شرق محدوده موردنظر حاوی مقادیر مس نیز است.

مراجع

[1] Ziaii, M. Lithogeochemical exploration methods for porphyry copper deposit in Sungun, NW Iran. Unpublished M. Sc. Thesis, Moscow State University (MSU), Moscow 1996, 98.

[2] Malekzadeh, A., Karimpour, M.H., Mazaheri, S.A., 2010b. Geology, alteration, mineralization and geochemistry of MA-II region, Maherabad porphyry copper-gold prospect area, South Khorasan province. Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy. 639-654

[3] Carranza, E.J.M. Geochemical anomaly and mineral prospectivity mapping in GIS; Elsevier: 2008.

[4] Ziaii, M.; Carranza, E.J.M.; Ziaei, M. Application of geochemical zonality coefficients in mineral prospectivity mapping. Computers & geosciences 2011, 37, 1935-1945.

[5] Cooke, D.; Hollings, P.; Wilkinson, J.; Tosdal, R. Geochemistry of porphyry deposits. 2014.

[6] Ziaii, M.; Ardejani, F.D.; Ziaei, M.; Soleymani, A.A. Neuro-fuzzy modeling based genetic algorithms for identification of geochemical anomalies in mining geochemistry. Applied geochemistry 2012, 27, 663-676.

[7] Goldberg, I.; Abramson, G.Y.; Los, V. Depletion and enrichment of primary haloes: their importance in the genesis of and exploration for mineral deposits. Geochemistry: Exploration, Environment, Analysis 2003, 3, 281-293.

[8] Zuo, R.; Cheng, Q.; Agterberg, F.; Xia, Q. Application of singularity mapping technique to identify local anomalies using stream sediment geochemical data, a case study from Gangdese, Tibet, western China. Journal of Geochemical Exploration 2009, 101, 225-235.

[9] Safari, S.; Ziaii, M.; Ghoorchi, M. Integration of singularity and zonality methods for prospectivity map of blind mineralization. International Journal of Mining and Geo-Engineering 2016, 50, 189-194.

[10] Iran, G.S. Geochemical map report for Basiran and Kodegan 1:100,000 Map; 1992.

[11] Malekzadeh, A.; Karimpour, M.; Mazaheri, S. Geology, alteration, mineralization and geochemistry of MA-II region, Maherabad porphyry copper-gold prospect area, South Khorasan province.

covered areas. *Applied geochemistry* 2013, 33, 195-212.

[30] Saaty, R.W. The analytic hierarchy process—what it is and how it is used. *Mathematical modelling* 1987, 9, 161-176.

[31] Congalton, R.G. A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data. *Remote sensing of environment* 1991, 37, 35-46.

[32] Sochevanov, N.N. 1983: Selection of elements for calculation of the sequences of geochemical zoning in ore deposits Pages 166-168 1983

[33] Story, M.; Congalton, R.G. Accuracy assessment: a user's perspective. *Photogrammetric Engineering and remote sensing* 1986, 52, 397-399.

[34] Lillesand, T.; Kiefer, R.; Chipman, J. *Remote Sensing and Image Interpretation*. John Wiley & Sons Inc. New York 1994.

[25] Solovov A. P. and Kuznetov V. (1987), "Geochemical prospecting for mineral deposits", Mir Publ

[26] Berman, J.J. Data simplification: taming information with open source tools; Morgan Kaufmann: 2016.

[27] John, D.A.; Ayuso, R.; Barton, M.; Blakely, R.; Bodnar, R.; Dilles, J.; Gray, F.; Graybeal, F.; Mars, J.; McPhee, D. Porphyry copper deposit model. Chapter B of Mineral deposit models for resource assessment: US Geological Survey Scientific Investigations Report 2010, 169.

[28] Hezarkhani, A. Petrology of the intrusive rocks within the Sungun porphyry copper deposit, Azerbaijan, Iran. *Journal of Asian Earth Sciences* 2006, 27, 326-340.

[29] Zuo, R.; Xia, Q.; Zhang, D. A comparison study of the C-A and S-A models with singularity analysis to identify geochemical anomalies in

² Thomas Saaty

¹ Sochevanov