

جدایش ناهنجاری‌های ژئوشیمیایی طلا-مس به روش فرکتال عیار-تعداد (C-N) در گستره قلعه‌دار، جنوب شرق ناین

بهنام قلی‌پور^۱، علی کنعانیان^{۲*}، شجاع‌الدین نیرومند^۳، امین طرهانی^۴ و مهرداد فردوسی راشد^۵

۱. کارشناسی ارشد پترولوژی، دانشکده زمین‌شناسی، دانشکده‌گان علوم، دانشگاه تهران، تهران، ایران
۲. استاد گروه پترولوژی و زمین‌شناسی اقتصادی، دانشکده زمین‌شناسی، دانشکده‌گان علوم، دانشگاه تهران، تهران، ایران
۳. استادیار گروه پترولوژی و زمین‌شناسی اقتصادی، دانشکده زمین‌شناسی، دانشکده‌گان علوم، دانشگاه تهران، تهران، ایران
۴. کارشناس ارشد زمین‌شناسی اقتصادی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه آزاد واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران
۵. کارشناس ارشد زمین‌شناسی اقتصادی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۴/۰۴

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۷/۲۷

چکیده

در این مقاله به منظور مطالعات اکتشاف ناحیه‌ای و جدایش ناهنجاری ژئوشیمیایی از زمینه از روش فرکتالی عیار-تعداد استفاده شده است. ناهنجاری‌های عناصر شاخص شامل طلا، آرسنیک، نقره، مس، آنتیموان، سرب، روی و مولیبدن در گستره اکتشافی قلعه‌دار (استان اصفهان) بررسی شده است. بدین منظور ۳۳۶ نمونه از واحدهای سنگی گستره به روش ICP-MS مورد تجزیه شیمیایی قرار گرفت. سپس داده‌های حاصل از آنالیز شیمیایی پس از جایگزینی داده‌های سنسورد برای پردازش دسته‌بندی و آماده‌سازی شدند. با استفاده از روش فرکتالی عیار-تعداد ناهنجاری‌های عناصر در این گستره شناسایی و نقشه‌های ناهنجاری‌ها رسم شد. نتایج مطالعات ژئوشیمی در گستره نشان داد، ناهنجاری‌های ژئوشیمیایی مختلف از عناصر Au, Mo, Cu, As, Sb, Pb, Zn ارتباط نزدیک و تنگاتنگی با هاله‌های دگرسانی و توده‌های نیمه عمیق دارد. همچنین این مطالعات منجر به تشخیص یک سامانه ژئوشیمیایی شد. پس از رسم نقشه‌های ژئوشیمی و مشخص کردن مناطق ناهنجار، تلفیق و انطباق ناهنجاری عناصر مختلف با یکدیگر انجام شد و در نهایت، پهنه‌بندی از عناصر صورت پذیرفت. به ترتیب پهنه‌بندی از مرکز به سمت خارج سیستم شامل ناهنجاری‌های مولیبدن (Mo)، مس-مولیبدن (Cu+Mo)، سرب-روی (Pb+Zn) و در نهایت ناهنجاری طلا-آرسنیک (As+Au) نیز که در حاشیه سیستم قرار می‌گیرد.

واژه‌های کلیدی: پهنه‌بندی عناصر، فرکتال عیار-تعداد، گستره معدنی قلعه‌دار، ناهنجاری ژئوشیمیایی.

مقدمه

ژئوشیمی اکتشافی در یک محیط سنگی، یک روش اکتشافی برای کانسارهای پنهان بخصوص در مناطق کوهستانی است. استفاده از این روش برای شناسایی هاله‌های اولیه کانسارها حتی تا فاصله زیاد از محل کانسار

و تشخیص منطقه‌بندی عناصر در اطراف کانسار و تشخیص عمق فرسایش بسیار سودمند است. مطالعات ژئوشیمی در مراحل مختلف اکتشاف ذخایر معدنی، مورد استفاده کارشناسان بخش اکتشاف می‌باشد. در مرحله پی‌جوئی برای مشخص کردن ناهنجاری‌ها در رابطه با مناطق امیدبخش،

* نویسنده مرتبط: kananian@ut.ac.ir

است و کاربرد گسترده‌ای در جداسازی جوامع زمین‌شناسی دارد (Mao et al., 2004). با توجه به اینکه توزیع فرکتالی عناصر در جهت گمانه‌ها برای جدایش هاله‌های کانه‌زایی در آنها در سال ۲۰۰۹ توسط Carranza در کانسار مس پورفیری گولونگ تبت مورد مطالعه قرار گرفت و نشان داد استفاده از روش‌های فرکتالی کمک زیادی به بررسی وضعیت کانه‌زایی در امتداد گمانه‌ها می‌کند، در این مقاله از این روش برای جدایش هاله‌های کانه‌زایی در گستره اکتشافی قلعه‌دار استفاده شده است.

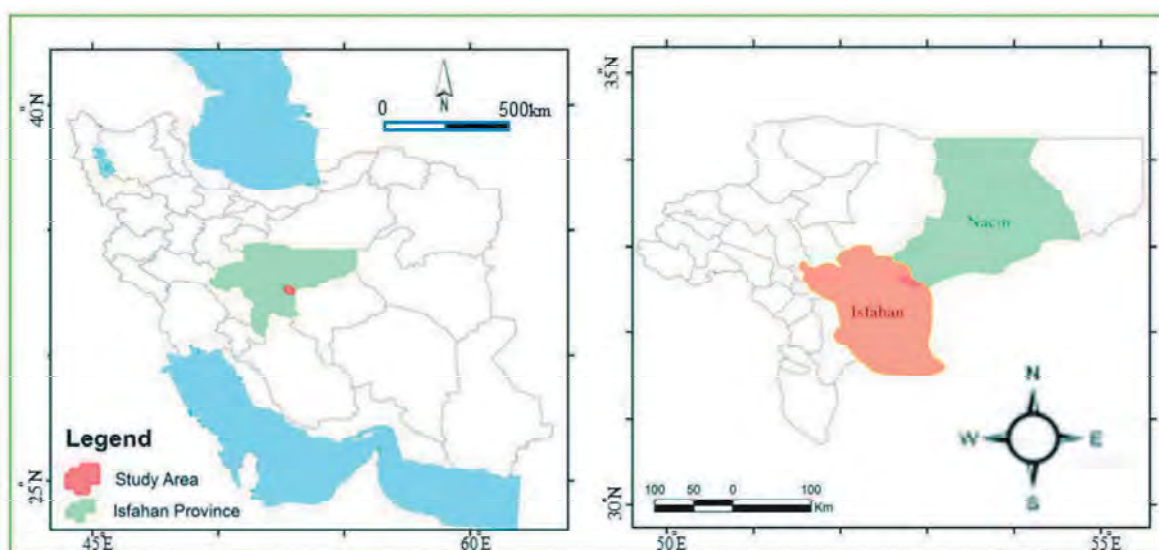
گستره قلعه‌دار در حدود ۴۰ کیلومتری جنوب‌غربی شهرستان نایین در استان اصفهان واقع شده است (شکل ۱). این گستره شامل سه گستره به نام‌های A, B, و C است. به لحاظ جغرافیایی گستره مطالعاتی قلعه‌دار در استان اصفهان و در مرز بین شهرهای اصفهان و نایین واقع می‌شود. نزدیک‌ترین شهر به این گستره نایین است. گستره اکتشافی I4 (قلعه‌دار) یکی از گستره‌های به دست آمده از فاز شناسایی و پی‌جویی در پهنه وسیع نائین-نطنز می‌باشد (سامانی، ۱۳۹۶). فاز ژئوشیمی ناحیه‌ای و تهیه نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰ در سال ۱۳۹۶ توسط شرکت مهندسی معدن شیب‌آزما در گستره‌ای به وسعت ۸۳ کیلومتر مربع (با نام قلعه‌دار) به انجام رسید و حاصل این مطالعات معرفی گستره امیدبخش عناصر طلا-مس I4 به وسعت ۲۲ کیلومتر مربع می‌باشد. در گستره مطالعاتی ناهنجاری‌های ژئوشیمیایی مختلف از عناصر Au, Mo, Cu, As, Sb, Pb, Zn که ارتباط نزدیک و تنگاتنگی با پهنه‌های دگرسانی و توده‌های نیمه عمیق دارد، مشاهده می‌شود.

هدف نهایی از انجام مطالعات حاضر انجام مطالعات اکتشاف ناحیه‌ای، جدایش ناهنجاری ژئوشیمیایی از زمینه با استفاده از روش فرکتالی عیار-تعداد، ناهنجاری‌های عناصر شاخص شامل طلا، آرسنیک، نقره، مس، آنتیموان، سرب، روی و مولیبدن، مشخص کردن هاله‌های غنی‌شدگی و تهی‌شدگی در سطح گستره، مشخص کردن پدیده‌های کانه‌زایی و کنترل‌کننده‌های آن صورت پذیرفت.

نمونه‌برداری از محیط‌های سنگی و خاکی صورت پذیرفت و سپس مورد آنالیز شیمیایی قرار گرفت. در مراحل اکتشافات مقدماتی و تفصیلی، نحوه توزیع عناصر و ترکیب‌های مختلف در کانسار مورد مطالعه مشخص می‌شود. در گستره پیشنهادی مطالعات ژئوشیمی که از نتایج مطالعات زمین‌شناسی حاصل می‌شود، با هدف بیان تغییرات سنگ‌شناسی در گستره مورد مطالعه، نمونه‌برداری‌های لازم انجام می‌شود و با روش‌های مورد نظر، ناهنجاری‌های مربوطه تعیین می‌شود. انتخاب روش مورد استفاده در مرحله تفسیر از مهم‌ترین عوامل در موفقیت مطالعات اکتشافی است (حسنی پاک، ۱۳۸۴).

مطالعات انجام شده توسط چنگ و همکاران (Cheng et al., 1994) همبستگی فرکتال بین عیار و تمرکز عناصر و خصوصیات هندسی، پراکندگی ژئوشیمیایی آنها را نشان دادند. میان میزان ذخیره تجمعی در یک کانسار با عیارهای متوسط بخش‌های مختلف آن، رابطه فرکتالی وجود دارد (Turcotte, 1986). روش‌های فرکتال متعددی برای اکتشاف ژئوشیمیایی و تشخیص ناهنجاری‌ها به کار صورت می‌پذیرد و شامل روش‌های عیار-مساحت (Cheng et al., 1994)، روش طیف توان-مساحت (Cheng, 1999)، و روش عیار-تعداد (Hassanpour and Afzal, 2013) می‌باشد. توزیع فضایی اغلب عناصر در محیط ژئوشیمیایی-زمین‌شناسی نتیجه فرآیندهای زمین‌شناسی از قبیل فعالیت‌های آتشفشانی یا توده‌های نفوذی، فرآیندهای رسوبی، تکتونیک، فرآیندهای دگرگونی و کانه‌زایی می‌باشند. این فرآیندها دارای مشخصات مشابهی هستند، از این رو می‌توانند فرکتال یا مولتی فرکتال تلقی شوند (Afzal et al., 2016). از تلفیق نتایج حاصل از مدل فرکتال با شواهد زمین‌شناسی دید بهتری از مراحل کانی‌زایی و نیز پراکندگی ثانویه عناصر به دست می‌آید (محمدی اصل و همکاران، ۱۳۹۹).

یکی از کاربردهای مهم هندسه فرکتال در اکتشاف، تعیین آستانه داده‌های ژئوشیمیایی برای تعیین نواحی ناهنجاری است (Afzal et al., 2012; Deng et al., 2010). یکی از روش‌های مهم در این میان روش فرکتالی عیار-تعداد



شکل ۱. موقعیت قرارگیری گستره مطالعاتی در کشور و استان اصفهان

زمین‌شناسی گستره مورد مطالعه

واحدهای سنگ‌شناسی در گستره قلعه‌دار شامل سنگ‌های آتشفشانی، آذرآواری و واحدهای ساب و لکانیک و نفوذی با ترکیب‌های مختلف است. با توجه به قرارگیری این گستره در نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ کجان، سن واحدهای خروجی و آذرآواری ائوسن تا پلیوسن تعیین شده، ولی توده‌های نفوذی و دایک‌ها به زمان بعد از ائوسن نسبت داده می‌شوند. ساب و لکانیک‌های با ترکیب حدواسط واحدهای ائوسن را قطع کردند و به علت نبود سن مطلق این واحدها، تنها براساس شواهد چینه‌شناسی می‌توان آن‌ها را به بعد از ائوسن نسبت داد. کهن‌ترین واحدهای سنگی پهنه از نوع سنگ‌های دگرگونی شیبست سبز و مرمر است و سن آنها پالئوزوئیک است.

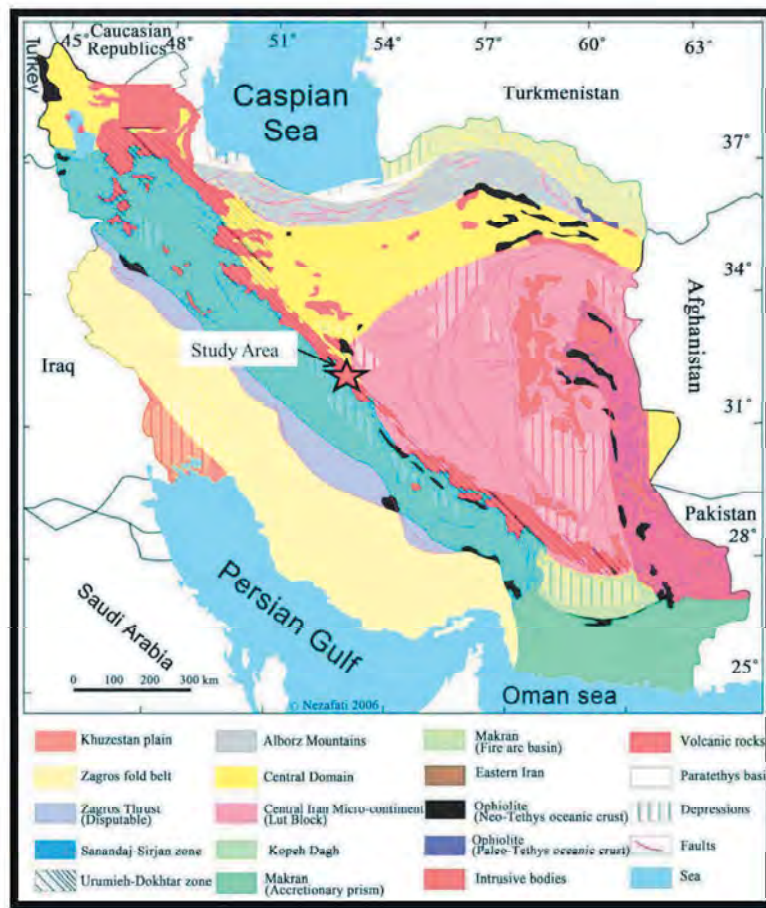
بر اساس مطالعات انجام شده، دگرسانی پروپلیتیک به عنوان دگرسانی غالب در گستره است و بعد از آن دگرسانی کوارتز-سریسیت (همراه با کوارتز-سریسیت-ترکیبات آهن) و آرژیلیک (همراه با آرژیلیک پیشرفته) در رده‌های بعدی می‌باشد. بر این اساس مشخص می‌شود، فرآیند دگرسانی در گستره قلعه‌دار کم و بیش در بیشتر واحدهای سنگ‌شناسی دیده می‌شود (شکل ۳).

نحوه پراکندگی و گسترگی دگرسانی‌های گستره اکتشافی مشابه با سیستم‌های اپی‌ترمالی است و می‌تواند نشان از

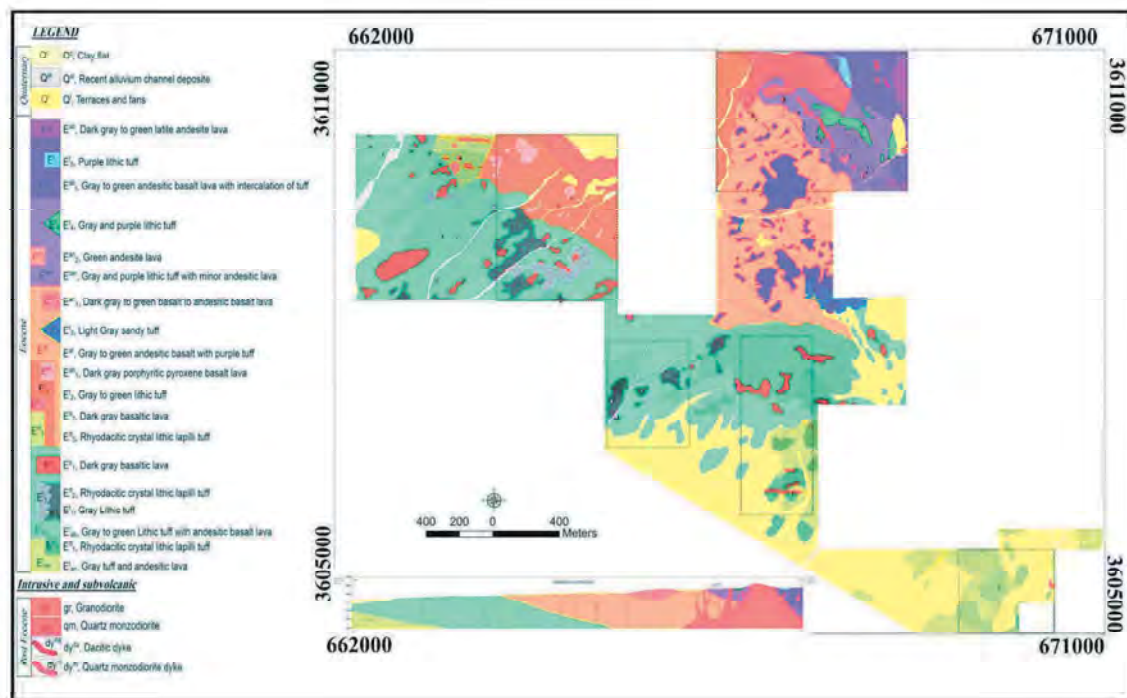
گستره قلعه‌دار در تقسیم‌بندی زمین‌شناسی-ساختاری بخشی از کمربند آتشفشانی ارومیه-دختر است (شکل ۲) و از شمال غربی ایران تا جنوب شرقی گسترش دارد (Nabavi, 1976; Stocklin, 1968).

به لحاظ جایگاه ساختاری، این گستره در حد فاصل پایانه شمال باختری گسل دهشیر و پایانه جنوبی گسل زفره قرار دارد. عملکرد این کمربند ترافشاری به گونه‌ای است که با ایجاد یک تنش فشاری در پهنه با راستای شمال شرقی-جنوب غربی، باعث چرخش واحدهای سنگی در پهنه شده است و توده‌های نفوذی راستای شمال غربی-جنوب شرقی به خود گرفته‌اند (Berberian, 1976). گسل دهشیر حدود ۵۰ کیلومتر واحدهای سنگی پهنه به سن ائوسن و الیگوسن را به صورت امتداد لغز راست گرد جابجا کرده است، بنابراین آخرین فعالیت این گسل را می‌توان به نئوژن ارتباط داد (Berberian, 1976). این میزان جابجایی روی گسل اصلی و همچنین حرکات جزئی‌تر بر روی شاخه‌های فرعی این گسل، باعث جابجایی و چرخش توده‌های نفوذی شده‌اند. بنابراین این‌گونه بیان می‌شود، حضور و عملکرد گسل‌های دهشیر و زفره و همچنین گسل‌های فرعی به وجود آمده در نتیجه حرکت آنها، نقش بسیار مهمی در جایگیری و کشیدگی توده‌های نفوذی و دایک‌ها در پهنه ایفا کرده‌اند.

جدایش ناهنجاری های ژئوشیمیایی طلا-مس به روش فرکتال عیار ...



شکل ۲. کمربندهای ساختاری ایران، گستره مورد مطالعه در کمربند آتشفشانی ارومیه-دختر نشان داده شده است (Stocklin, 1968) اصلاح شده توسط (Nezafati, 2015)



شکل ۳. نقشه زمین شناسی ۱:۵۰۰۰ گستره I4

آورده می‌شود و سپس نقاط عطف^۱ به عنوان حدود ناهنجاری بیان می‌شود. پس از تعیین حدود ناهنجاری، وارپوگرافی بر روی داده‌ها انجام گرفت تا از چگونگی روند تغییرات عیاری در کل گستره و همچنین جهت (های) اصلی گسترش کانه‌زایی اطلاعات کاملی به دست آید. در نهایت پس از مشخص شدن راستای همسانگردی اقدام به درون‌یابی به روش کریجینگ و تهیه نقشه ژئوشیمیایی برای عناصر مختلف شد. این نقشه‌ها برای عناصر مهم و اصلی از قبیل طلا، آرسنیک، نقره، مس، آنتیموان، سرب، روی و مولیبدن رسم شد. برای اینکار ابتدا نمودارهای تمام لگاریتمی عیار-تعداد برای هر یک از عناصر رسم و نقاط شکستگی در آنها شناسایی و جوامع ژئوشیمیایی مختلف، مشخص شدند.

پس از جداسازی گستره ناهنجاری از زمینه به کمک روش فرکتال عیار-تعداد نقشه مربوط به هر یک از عناصر به کمک نرم‌افزار ArcGIS رسم شدند.

روش فرکتال عیار-تعداد

اساس این روش بر مبنای رابطه معکوس بین عیار و فراوانی تجمعی هر عیار با عیارهای بالاتر از آن است (Mao et al., 2004). در اکتشافات ژئوشیمیایی تمرکزهای بالا همراه با فرایندهای کانه‌زایی، می‌تواند جوامع مختلفی را نسبت به مقدار زمینه منعکس کند. به عبارت دیگر بعد فرکتالی کانه‌زایی با مقدار بعد زمینه متفاوت خواهد بود (حسنی پاک و شرف‌الدین ۱۳۸۰). مقدار شکستگی بین خطوط به عنوان عیار حد برای جدایش مقادیر ژئوشیمیایی استفاده می‌شود (Ford and Blenkinsop, 2008). خوبی این روش در این است که قبل از تخمین، با داده‌های خام اکتشافی محاسبات را انجام می‌دهد (Sadeghi et al., 2012). این روش براساس رابطه زیر به دست می‌آید:

$$N(\geq C) \propto \rho - \beta$$

در این رابطه $N(\geq C)$ برابر تعداد نمونه‌هایی که دارای عیار مساوی و بالاتر از C هستند، می‌باشد. ρ برابر عیار β برابر بعد فرکتالی است (Sadeghi et al., 2012; Ford and Blenkinsop, 2008; Mao et al., 2004).

بخش بالایی سیستم پورفیری باشد. در واقع این سطح رخنمون یافته از دگرسانی‌های پهنه را می‌توان به عنوان لیتوکپا در نظر گرفت که به عنوان فوقانی‌ترین بخش از سیستم‌های پورفیری بیان می‌شود (Richards, 2014).

روش مطالعه

آماده‌سازی داده‌های اکتشافی

نمونه‌برداری لیتوژئوشیمی در منطقه قلعه‌دار به صورت سیستماتیک به مساحت ۲۲/۳۶ کیلومتر مربع، انجام گرفت. نمونه لیتوژئوشیمی سیستماتیک ۲۵۰×۲۵۰ متر طراحی شد. همچنین از بخش‌های با احتمال کانه‌زایی نیز نمونه‌های غیر سیستماتیک برداشت شد. در مجموع تعداد ۳۳۶ نمونه از این محدوده جمع‌آوری شد. از این تعداد، ۳۲۶ نمونه سیستماتیک ۱۰۵ نمونه غیرسیستماتیک است. در شکل ۴ جانمایی نمونه‌های جمع‌آوری شده ارائه شده است.

نمونه‌های جمع‌آوری شده در این مرحله برای انجام آنالیز به آزمایشگاه شرکت زرآرما ارسال شد. بر روی نمونه‌ها آنالیز ICP MASS با پکیج ۳۴ عنصری و طلا به روش Fire Assay صورت پذیرفت.

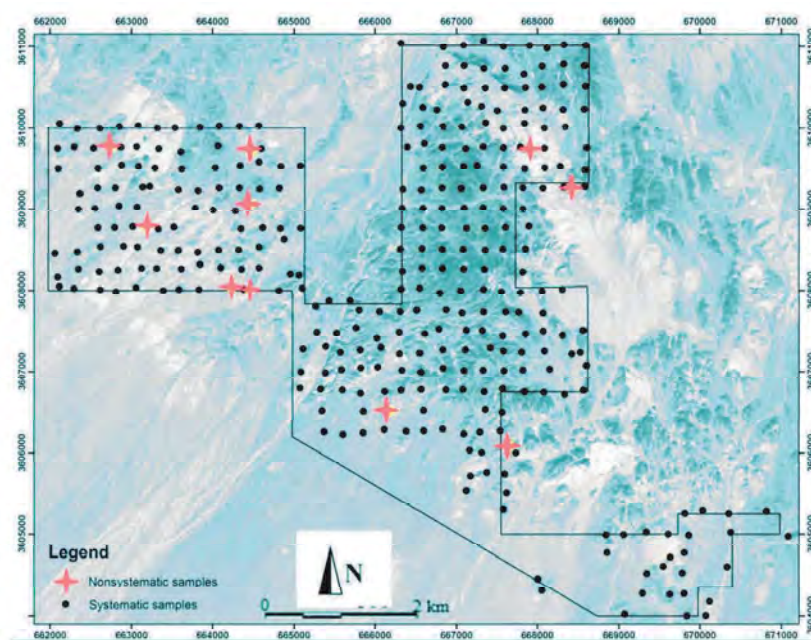
داده‌های حاصل از آنالیز شیمیایی پس از جایگزینی داده‌های سنسورد برای پردازش دسته‌بندی و آماده‌سازی شد. این پردازش‌ها بر روی داده‌های خام (پس از جایگزینی داده‌های سنسورد) صورت پذیرفت. نمونه‌هایی که مقادیر آن کمتر از حد تشخیص دستگاه است، با ۳/۴ حد تشخیص و نمونه‌هایی که مقادیر آن بیشتر از حد تشخیص دستگاه است با ۴/۳ حد تشخیص جایگزین می‌شود (حسنی پاک و شرف‌الدین، ۱۳۸۴).

بحث

رسم نقشه ژئوشیمی عناصر

برای رسم نقشه‌های ژئوشیمیایی ابتدا نیاز است، حدود ناهنجاری برای هر عنصر مشخص شود. با توجه به اینکه در این پروژه از داده‌های خام استفاده شد، بنابراین روش فرکتالی عیار-تعداد انتخاب شد. در این روش در یک نمودار ابتدا مقدار لگاریتمی هر نمونه (محور X) به همراه مقدار لگاریتمی فراوانی تجمعی متناظر با همان نمونه (محور Y)

1. Lithocap
2. Breakdown



شکل ۴. جانمایی نمونه‌های برداشت شده شبکه لیتوژئوشیمی بر روی تصویر ماهواره‌ای

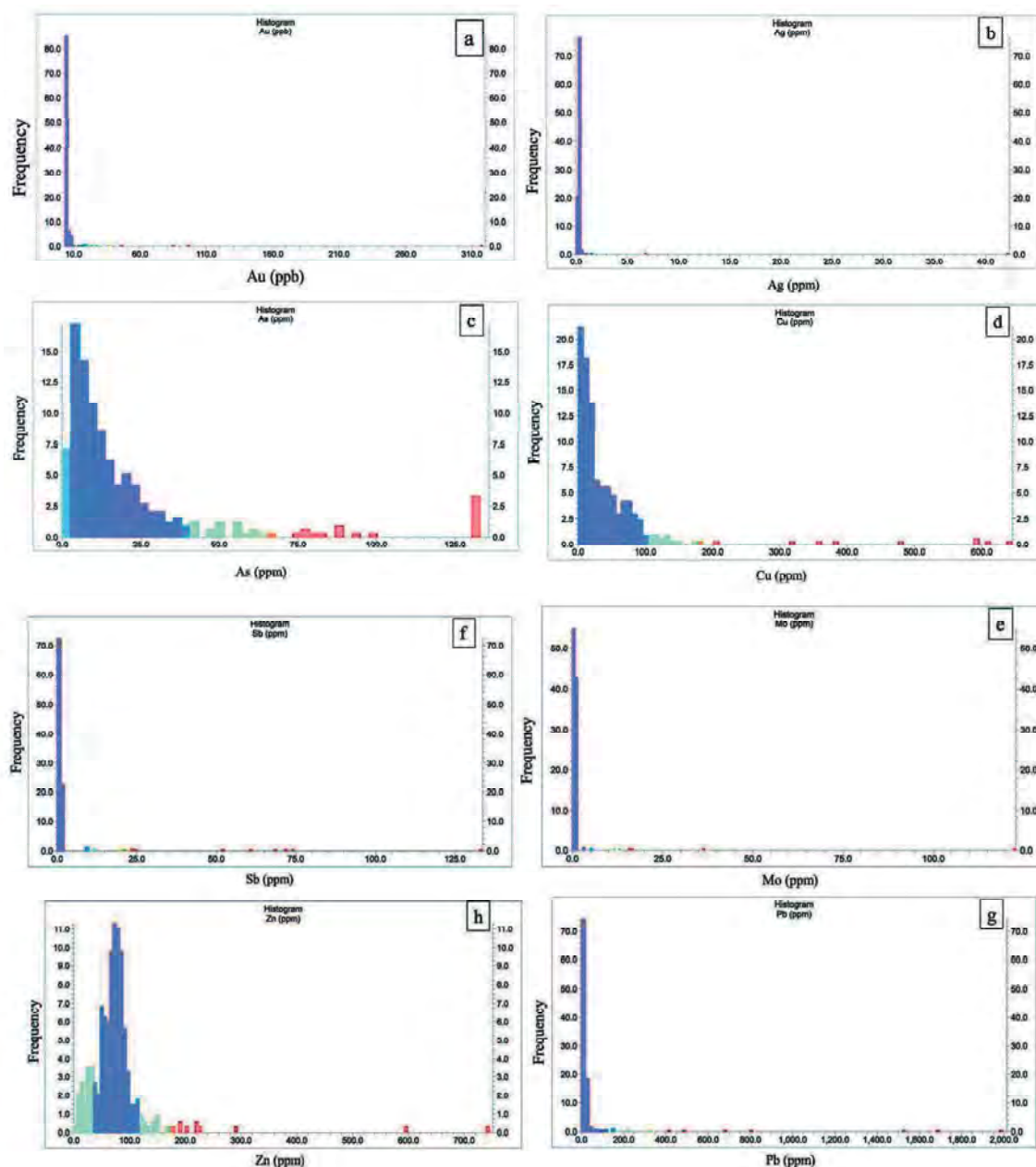
واریوگرافی بر روی داده‌های خام عناصر طلا، نقره، آرسنیک، مس، مولیبدن، آنتیموان، سرب و روی صورت گرفت و جهت‌های اصلی بیضوی ناهمسانگردی تعیین شد. واریوگرافی بر روی هشت عنصر یاد شده نتیجه مناسبی را ارائه می‌دهد و میزان انطباق مدل تجربی و استاندارد، بسیار قابل قبول و مناسب است (شکل ۶). بیشترین همسانگردی در جهت آزیموت به ترتیب برای عناصر طلا (۱۵۰/۸)، آنتیموان (۱۴۴/۸)، سرب (۱۴۱/۸)، روی (۱۳۲/۷)، آرسنیک (۱۲۷/۷)، مس (۱۲۷/۷)، نقره (۱۲۳/۷) و مولیبدن (۱۲۳/۷) می‌باشد (شکل ۶).

نمودارهای فرکتال عیار-تعداد عناصر طلا، نقره، آرسنیک، مس، مولیبدن، آنتیموان، سرب و روی در شکل ۷ مشاهده می‌شود. مطابق با این نمودارها و جدول ۲ مقادیر به عنوان حد زمینه، ناهنجاری‌های ضعیف، متوسط و ناهنجاری‌های قوی برای عناصر طلا، نقره، آرسنیک، مس، مولیبدن، آنتیموان، سرب و روی مشخص شده است. همچنین حدود زمینه و ناهنجاری عناصر طلا، نقره، آرسنیک، مس، مولیبدن، آنتیموان، سرب و روی به روش فرکتال عیار-تعداد در جدول ۲ گزارش شده است. نقشه توزیع عیار عناصر طلا، نقره، آرسنیک، مس، مولیبدن، آنتیموان، سرب و روی در گستره I4، در شکل ۸ مشاهده می‌شود.

حداقل مقدار طلا، در نمونه‌های به حد تشخیص رسیده، پنج ppb و بالاترین مقدار آن ۳۱۸ppb است. این حد مقدار برای عنصر نقره ۰/۱۹ ppm و حداکثر آن ۴۲/۱ ppm و برای عنصر آرسنیک که از آن به عنوان ردیاب طلا استفاده می‌شود، کمترین مقدار آن ۱/۵ ppm و بالاترین مقدار در نمونه‌ها، ۹۹/۳ ppm می‌باشد. عنصر مس که به عنوان یکی از عناصر اصلی در ذخایر پورفیری و ایپی‌ترمال شناخته می‌شود و بالاترین تمرکز آنها در مرکز سیستم‌های پورفیری می‌باشد، پراکندگی این عنصر بین دو تا ۶۳۹ گرم در تن می‌باشد. برای عنصر مولیبدن پراکندگی بین ۰/۵ تا ۱۲۲/۳ گرم در تن، برای آنتیموان که از جمله عناصری است که با طلا به صورت پارائز است و همانند آرسنیک ردیاب به نسبت خوبی برای طلا می‌باشد، کمترین مقدار این عنصر ۰/۸ ppm و حداکثر آن ۷۳/۹ ppm می‌باشد. مقادیر عنصر سرب پنج ppm تا ۱۹۸۸ ppm و مقادیر عنصر روی از پنج ppm تا ۷۴۵ ppm در تغییر است. همچنین پارامترهای آماری و نمونه‌های دارای مقادیر انومال عناصر به ترتیب در جدول ۱ گزارش شده است. نمودار ستونی توزیع عناصر طلا، نقره، آرسنیک، مس، مولیبدن، آنتیموان، سرب و روی در نمونه‌های لیتوژئوشیمی سیستماتیک در شکل ۵ نشان داده شده است.

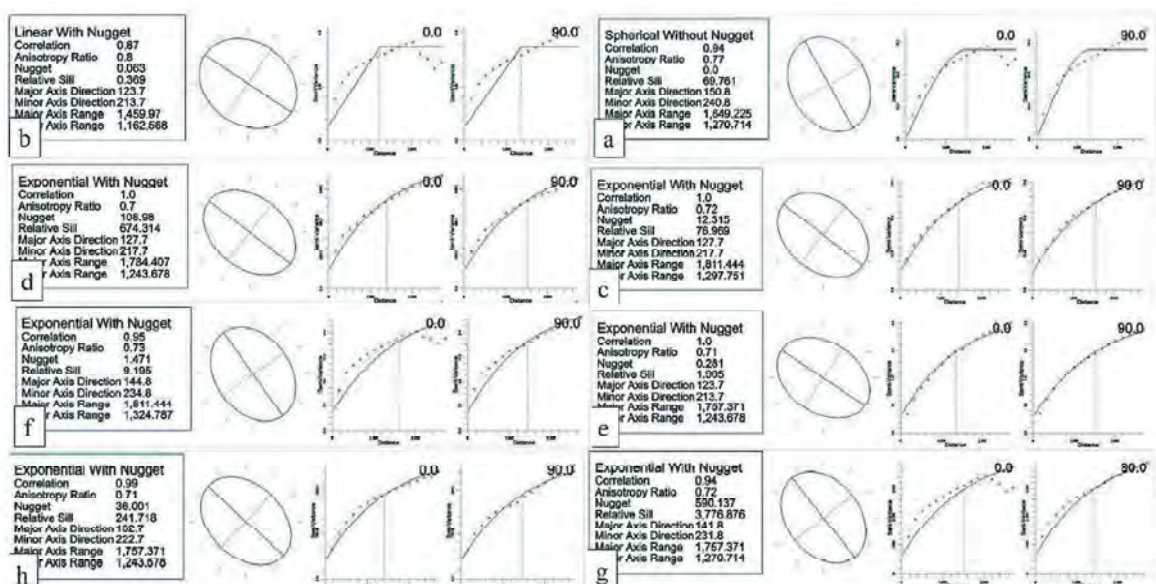
جدول ۱. نمونه‌های دارای مقادیر آنومال عناصر در گستره 14

Statistics	Mean	Median	Mode	Std. Dev	CV	Skewness	Kurtosis	Min	Max
Au (ppb)	۶/۲۳	۳/۷۵	۳/۷۵	۱۸/۷۲	۳/۰۱	۱۴/۴۸۸	۲۳۳	۵	۳۱۸/۰۰
Ag (ppm)	۰/۴۳	۰/۲۷	.۲۷	۲/۳۱	۵/۳۹	۱۸	۳۱۹	.۱۹	۴۲/۱۰
As (ppm)	۲۰/۶۰	۱۱۰/۵	>۱۰۰	۲۷/۱۵	۱/۳۲	۲/۷۸۷	۸۰/۵۱	۱/۵	> ۱۰۰
Cu (ppm)	۴۶/۷۵	۲۳/۰۰	۴/۰	۸۰/۶۹	۱/۷۳	۵/۱۴۳	۳۰/۸۷۰	۲/۰	۶۳۹/۰
Mo (ppm)	۱/۳۸	۰/۶۹	.۶۲۰	۷/۰۶	۵/۰۱	۱۵/۵۳۲	۲۶۰/۵۷۰	.۵	۱۲۲/۳
Sb (ppm)	۲/۸۳	۱/۰۳	۱/۰۰	۱۰/۹۶	۳/۸۷	۸۰/۸۴	۷۵/۵۶۲	.۸۰	>۱۰۰
Pb (ppm)	۴۲	۱۴	۱۳	۱۷۷	۴/۲۴	۸/۷۰۲	۸۱/۴۹۷	۵/۰	۱۹۸۸/۰
Zn (ppm)	۷۵/۵۱	۷۲/۰۰	۷۵/۰	۵۸/۶۸	۰/۷۸	۶/۸۳۶	۶۸/۱۱۱	۵/۰	۷۴۵/۰



شکل ۵. نمودار ستونی توزیع عناصر (a طلا (Au)، (b نقره (Ag)، (c آرسنیک (As)، (d مس (Cu)، (e مولیبدن (Mo)، (f آنتیموان (Sb)، (g سرب (Pb)، (h روی (Zn)). در نمونه‌های لیتوژئوشیمی سیستماتیک

جدایش ناهنجاری‌های ژئوشیمیایی طلا-مس به روش فرکتال عیار...



شکل ۶. واریوگرام تجربی برای عناصر (a) طلا (Au)، (b) نقره (Ag)، (c) آرسنیک (As)، (d) مس (Cu)، (e) مولیبدن (Mo)، (f) آنتیموان (Sb)، (g) سرب (Pb)، (h) روی (Zn) در شبکه لیتوژئوشیمی سیستماتیک ۲۵۰ در ۲۵۰ متر

جدول ۲. حدود زمینه و ناهنجاری عناصر به روش فرکتال عیار-تعداد

Elements	Low Background	Background	Low Anomaly	Medium Anomaly	High Anomaly
Au (ppb)	۹	۱۶	۲۷	۹۵	> ۹۵
Ag (ppm)	۰.۲۷	۰.۳۸	> ۰.۳۸	-	-
As (ppm)	۲	۷	۳۳	۷۵	> ۷۵
Cu (ppm)	۸	۲۵	۱۰۷	۱۵۱	> ۱۵۱
Mo (ppm)	۰.۷۲	۰.۹۹	۵.۵	> ۵.۵	-
Sb (ppm)	۰.۹۸	۱.۱۵	۲۴.۲	> ۲۴.۲	-
Pb (ppm)	۱۲	۱۷	۶۲	۱۵۸	> ۱۵۸
Zn (ppm)	۱۶	۴۷	۹۴	۱۵۲	> ۱۵۲

NW-SE است و نشان دهنده تاثیر و کنترل عوامل ساختاری در کانه‌زایی است. این روند از راستای پهنه‌بندی ژئوشیمیایی عناصر نیز تبعیت می‌کند.

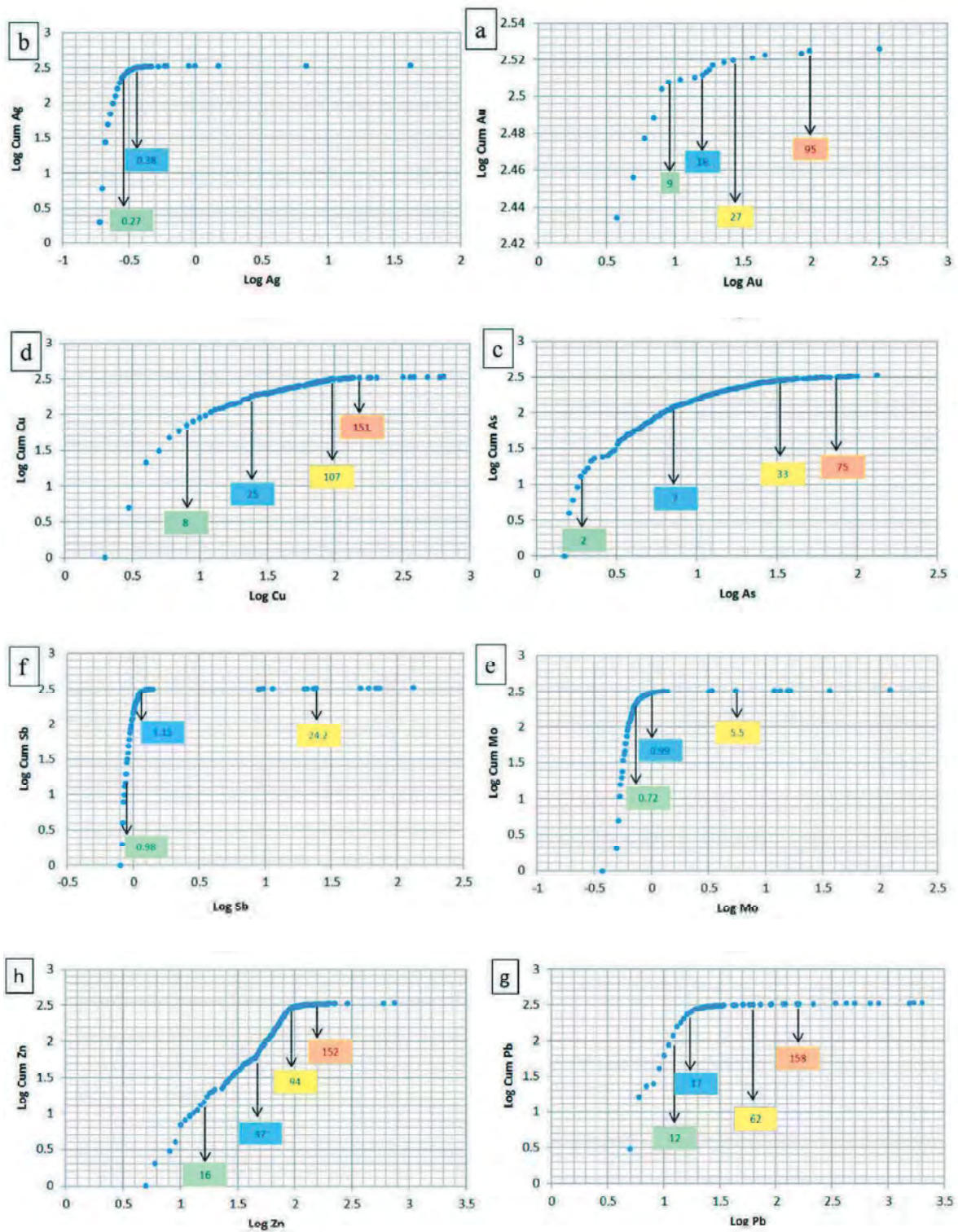
جدول ۳. مقایسه جهت همسانگردی برای عناصر مختلف در گستره اکتشافی I4

عنصر	آزیموت جهت اصلی همسانگردی
Au (ppb)	۱۵۰/۸
Ag (ppm)	۱۲۳/۷
As (ppm)	۱۲۷/۷
Cu (ppm)	۱۲۷/۷
Mo (ppm)	۱۲۳/۷
Sb (ppm)	۱۴۴/۸
Pb (ppm)	۱۴۱/۸
Zn (ppm)	۱۳۲/۷

مقایسه جهت همسانگردی برای عناصر مختلف در گستره اکتشافی

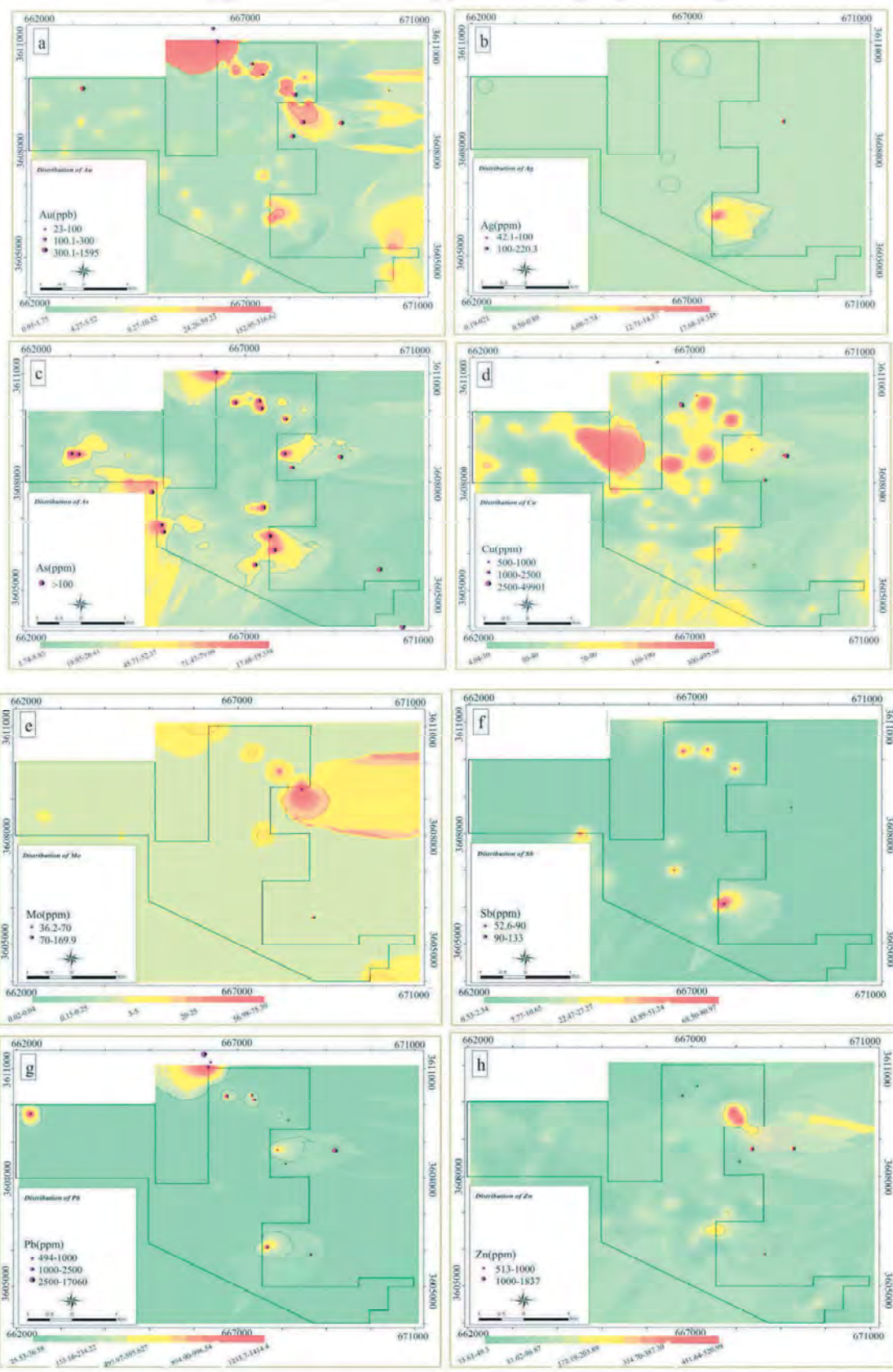
واریوگرافی یکی از پارامترهای ارزشمند است، چرا که با در دست داشتن راستای اصلی همسانگردی ناهنجاری‌های عناصر و نیز تلفیق آن با وضعیت زمین‌شناسی پهنه می‌توان وضعیت گسترش کانه‌زایی احتمالی را مشخص کرد.

همان‌طور که در جدول ۳ مشخص است جهت اصلی همسانگردی برای عناصر نقره، آرسنیک، مس، مولیبدن و تا حدودی روی بهم نزدیک است و در آزیموت ۱۲۳/۷ تا ۱۳۲/۷ قرار دارند. ولی راستای همسانگردی عناصر طلا، سرب و آنتیموان در آزیموت بین ۱۴۱/۸ تا ۱۵۰/۸ قرار دارد و اختلاف به نسبت کمی با عناصر دیگر دارد. این موضوع نشان‌دهنده گسترش کانه‌زایی احتمالی با روند تقریبی



شکل ۷. نمودار فرکتال-عیار-تعداد و تعیین حدود ناهنجاری برای عناصر (a طلا (Au)، (b) نقره (Ag)، (c) آرسنیک (As)، (d) مس (Cu)، (e) مولیبدن (Mo)، (f) آنتیموان (Sb)، (g) سرب (Pb)، (h) روی (Zn)

جدایش ناهنجاری‌های ژئوشیمیایی طلا-مس به روش فرکتال عیار...

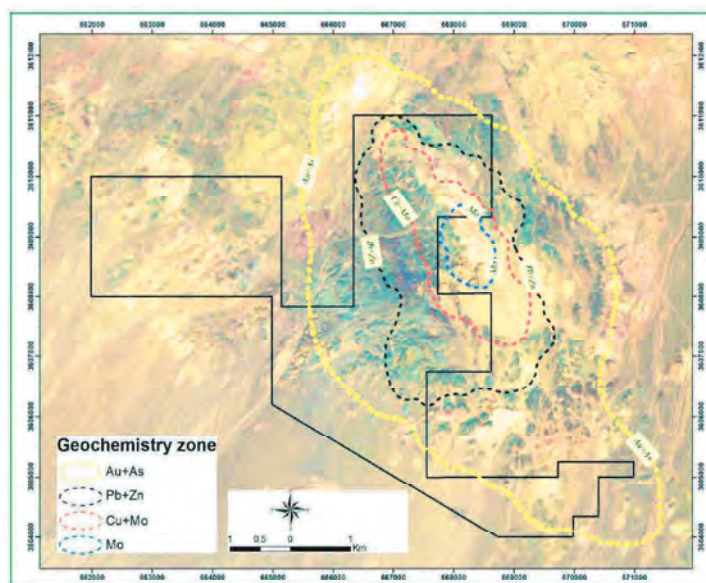


شکل ۸. نقشه توزیع عیار عناصر (a) طلا (Au)، (b) نقره (Ag)، (c) آرسنیک (As)، (d) مس (Cu)، (e) مولیبدن (Mo)، (f) آنتیموان (Sb)، (g) سرب (Pb)، (h) روی (Zn)، در گستره ۱۴

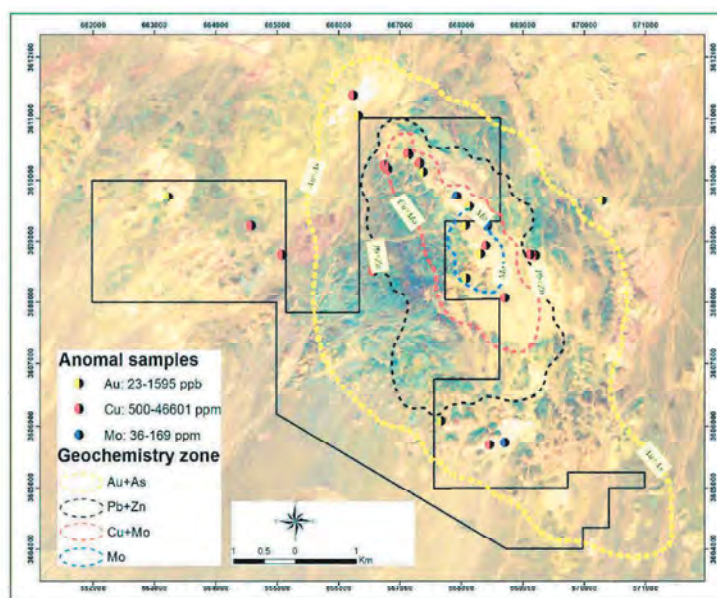
پهنه‌بندی شیمیایی

دگرسانی‌ها نقش دارند، گستره قابل توجهی از محیط‌های زمین‌شناسی تحت تاثیر قرار می‌گیرند. در این مدل کانسارها، پهنه‌بندی‌های مشخص از عناصر مهم رخ می‌دهد و توسط افراد مختلفی در سراسر دنیا این مسئله مورد مطالعه قرار دارد (Martin et al., 2005). در شکل ۹، پهنه‌بندی عناصر $As+Au$, $Pb+Zn$, $Cu+Mo$, Mo بر روی تصویر ماهواره‌ای و در شکل ۱۰ تلفیق ناهنجاری‌های طلا، مس و مولیبدن و پهنه‌بندی ژئوشیمیایی عناصر در این گستره نشان داده شده است.

مطالعات لیتوژئوشیمیایی با تکیه بر قوانین حاکم بر تمرکز فلزات در سنگ‌ها انجام می‌شود. عناصر معرف نقش کلیدی در تشخیص سیستم کانه‌زایی دارند. تفاوت در میزان تحرک عناصر، علت ایجاد اختلاف در توانایی مهاجرت عناصر است. همین مسئله موجب شکل‌گیری پهنه‌بندی ژئوشیمیایی می‌شود و در شناسایی مناطق کانسازی بسیار موثر است. در برخی از سامانه‌های کانسازی مانند پورفیری‌ها که حجم وسیعی از سیالات ماگمایی و جوی در کانه‌زایی و



شکل ۹. پهنه‌بندی عناصر $As+Au$, $Pb+Zn$, $Cu+Mo$, Mo در گستره I4 در تصویر ماهواره‌ای



شکل ۱۰. تلفیق ناهنجاری‌های طلا، مس و مولیبدن و پهنه‌بندی ژئوشیمیایی عناصر در گستره I4

نتیجه‌گیری

با توجه به مطالعات لیتوژئوشیمیایی سیستماتیک انجام شده در گستره، پهنه‌بندی و توالی ژئوشیمیایی با نظم خاصی دیده می‌شود. هرچند که این پهنه‌بندی‌ها به شکل ناهنجاری‌های ژئوشیمیایی است ولی قابل مقایسه با توالی‌های شیمیایی موجود در ذخایر شناخته شده است.

با توجه به نتایج حاصل از مطالعات لیتوژئوشیمی و تفسیرهای زمین‌شناسی در گستره مطالعاتی، به نظر می‌رسد این گستره منطبق بر دگرسانی‌های آرژلیک تا آرژلیک پیشرفته همراه با اکسید آهن و کلاهدک سیلیسی است. رگه‌های گرمابی سیلیسی-سولفیدی که در اثر اکسایش حاصل از هوازی به اکسیدهای آهن تبدیل شده‌اند، آن را همراهی می‌کنند. در همین بخش از گستره ناهنجاری‌های به نسبت قوی مس، مولیبدن و طلا به همراه سرب و روی نیز مشاهده می‌شود. همچنین توده‌های نفوذی با ترکیب گرانودیوریت تا کوارتز دیوریت در این بخش از گستره نفوذ و سبب دگرسان شدن واحدهای آتشفشانی و آذرآواری شده است. پس از رسم نقشه‌های ژئوشیمی و مشخص نمودن مناطق ناهنجار، تلفیق و انطباق ناهنجاری عناصر مختلف با هم دیگر صورت گرفت و در نهایت پهنه‌بندی عناصر با توالی‌های پارائزنی از بخش خارجی سیستم به سمت داخل متشکل از $As+Au$, $Pb+Zn$, $Cu+Mo$, Mo می‌باشد و مرکز سیستم کم و بیش منطبق بر ناهنجاری مولیبدن می‌باشد. مرکز این سیستم که ناهنجاری مولیبدن (MO) را نشان می‌دهد، منطبق بر دگرسانی‌های سیلیسی (کلاهدک سیلیسی) و آرژلیک پیشرفته است و آثاری از رگه-رگچه‌های اکسید آهن (خارج از گستره) در آن دیده می‌شود. بخش بیرونی مرکز سیستم، منطبق بر ناهنجاری مس-مولیبدن ($Cu+Mo$) است و این ناهنجاری هم بر روی دگرسانی آرژلیک قرار می‌گیرد. هاله سرب-روی منطبق بر دگرسانی‌های آرژلیک به همراه رگه‌های سیلیسی می‌باشد. در نهایت هاله طلا-آرسنیک ($Au+As$) نیز که در حاشیه سیستم قرار می‌گیرد، بر دگرسانی‌های پروپلیتیک و آرژلیک ضعیف منطبق می‌شود.

منابع

- سامانی، ب.، ۱۳۹۶. گزارش پایانی اکتشاف طرح ارزیابی استعداد منابع معدنی پهنه نطنز-نائین (استان اصفهان)، ۷۳.
- حسنی‌پاک، ع.الف. و شرف‌الدین، م.، ۱۳۸۴. تحلیل داده‌های اکتشافی. موسسه انتشارات دانشگاه تهران، چاپ دوم، ۹۸۷.
- شرکت مهندسی معدن شیب آزما، ۱۳۹۶. تهیه نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰ قلعهدار (۱۴).
- محمدی‌اصل، ز.، سعیدی، ع.، آرین، م.، سلگی، ع.، فرهادی‌نژاد، ط.، ۱۳۹۹. جداسازی آنومالی‌های ژئوشیمیایی از زمینه با استفاده از روش فرکتالی عیار-تعداد در محدوده و شش‌نوه (جنوب قم). فصلنامه زمین‌شناسی ایران، ۵۳، ۶۱-۷۳.
- Afzal, P., Eskandarnajad Tehrani, M., Ghaderi, M. and Hosseini, M.R., 2016. Delineation of supergene enrichment, hypogene and oxidation zones utilizing staged factor analysis and fractal modeling in Takht-e-Gonbad porphyry deposit, SE Iran". *Geoscience*, 161, 119-127.
- Afzal, P., Fadakar Alghalandis, Y., Moarelvand, P., Rashidnejad Omran, N. and Asadi Haroni, H., 2012. Application of power-spectrum fractal method for detecting hypogene, supergene enrichment, leached and barren zone in Kahang Cu porphyry deposit, central Iran. *Journal of Geochemical Exploration*, 112, 131-138.
- Berberian M., 1976. Contribution to the seismotectonics of Iran, part II. Tehran: Geological Survey of Iran, 39.
- Carranza, E.J.M., 2009. Controls on mineral deposit occurrence inferred from analysis of their spatial pattern and spatial association with geological features. *Ore Geology Reviews*, 35(3-4), 383-40
- Cheng, Q., 1999. Spatial and scaling modelling for geochemical anomaly separation. *Journal of Geochemical exploration*, 65, 175-194.
- Cheng, Q., Agterberg, F.P. and Ballantyne, S.B., 1994. The separation of geochemical

- anomalies from background by fractal methods. *Journal of Geochemical Exploration*, 51(2), 109-130.
- Deng, J., Wang, Q., Yang, L., Wang, Y., Gong, Q. and Liu, H., 2010. Delineation and exploration of geochemical anomalies using fractal models in the Heging area, Yunnan Province, China. *Journal of Geochemical Exploration*, 105, 95-105.
 - Ford, A. and Blenkinsop, T.G., 2008. Combining fractal analysis of mineral deposit clustering with weights of evidence to evaluate patterns of mineralization: Application to copper deposits of the Mount Isa Inlier, NW Queensland, Australia. *Ore Geology Review*, 33, 435-450.
 - Hassanpour, S. and Afzal, P., 2013. Application of concentration-number (C-N) multifractal modeling for geochemical anomaly separation in Haftcheshmeh porphyry system, NW Iran. *Arabian Journal of Geosciences*, 6(3), 957-970.
 - Mao, Z., Peng, S., Lai, J., Shao, Y. and Yang, B., 2004. Fractal study of geochemical prospecting data in south area of Fenghuanshan copper deposit, Tongling Anhui. *Journal of Earth Sciences and Environment*, 26 (4), 11-14.
 - Martin, H., Smithies, R.H., Rapp, R., Moyer, J.F. and Champion, D., 2005. An overview of adakite, tonalite-trondhjemite-granodiorite (TTTG), and sanukitoid: relationships and some implications for crustal evolution. *Lithos*, 79, 1-24.
 - Nabavi, M.H., 1976. A preface to Iran's geology. *Geology survey and mineral exploration of Iran*, 109.
 - Nezafati, N., 2015. Mineral resources of Iran; an overview. 66 of Conference of Berg-und Hüttenmännischer Tag (BHT), At Freiberg, Germany, 66, 1-33.
 - Richards, J., 2014. Tectonic, magmatic and metallogenic evolution of the Tethyan orogeny: from subduction to collision. *Ore Geology Reviews*, 70, 323-345.
 - Sadeghi, B., Moarefvand, P., Afzal, P., Yasrebi, A.B. and Daneshvar Saein, L., 2012. Application of fractal models to outline mineralized zones in the Zaghia iron ore deposit, Central Iran. *Journal of Geochemical Exploration, Special Issue Fractal Analysis*, 122, 9-19.
 - Stocklin, J., 1968. Structural history and tectonic of Iran, a review. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 52, 1229-1258.
 - Turcotte, D.L., 1986. A fractal approach to the relationship between ore grade and tonnage. *Economic Geology*, 81(6), 1528-153.