

کاربرد مدل‌های فرکتال عیار-تعداد و عیار-مساحت در جداسازی آنومالی‌های ژئوشیمیایی در کانسار طلا زرشوران، شمال غرب ایران

احد نظرپور

گروه زمین‌شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز، اهواز، ایران

نویسنده مسئول: Ahad.nazarpour@gmail.com*

دریافت: ۹۴/۳/۲۰ پذیرش: ۹۴/۱۱/۱۸

چکیده

در پژوهش حاضر مدل‌های فرکتالی عیار-تعداد و عیار-مساحت به منظور جدایش آنومالی‌های ژئوشیمیایی عناصر طلا، آرسنیک، مس و آنتیموان در کانسار زرشوران، شمال غرب ایران مورد استفاده قرار گرفتند. نمودارهای لگاریتمی همراه با خط برازش مستقیم نشان‌دهنده رابطه مدل عیار-تعداد و مدل عیار-مساحت عناصر طلا، آنتیموان، آرسنیک و مس هستند. مقادیر آستانه‌های بدست آمده از هر دو روش تقریباً مشابه می‌باشند. بر اساس مقدار آستانه‌های بدست آمده، توزیع غلظت عناصر را در هر دو روش مورد بررسی را می‌توان به سه گروه تقسیم‌بندی نمود، که هر کدام دارای انطباق نسبی با تیپ سنگی خاصی از قبیل: سنگ‌های مافیک و سرپانتین شایست (در تاق‌دیس ایمان خان)، آهک چالداغ و واحد شیل زرشوران (گوژ سیاه) می‌باشند. شواهد ساختاری متنوع و دگرسانی‌های همراه با آن‌ها نشان‌دهنده این موضوع است که ساختارهای زمین‌شناسی نقش بسیار مهمی در جدایش و تفکیک آنومالی‌های ژئوشیمیایی و توزیع عناصر در خاک‌ها داشته‌اند.

واژه‌های کلیدی: ژئوشیمی، فرکتال، عیار-تعداد، عیار-مساحت، زرشوران

۱- مقدمه

هیستوگرام، نمودارهای جعبه‌ای [۱۴]، آنالیزهای تک متغیره و چند متغیره می‌باشند [۱۸ و ۱۰]. گروه دوم شامل روش‌هایی هستند که موقعیت فضایی نمونه‌ها و فرم هندسی ناهنجاری‌ها را در نظر گرفته، که بیش‌تر شامل روش‌های زمین‌آمار و فرکتالی هستند [۶، ۹، ۸ و ۵].

چندین روش فرکتالی و مولتی‌فرکتالی از قبیل عیار-مساحت [۱۰]، طیف - مساحت [۷]، عیار-حجم [۵]، عیار-تعداد [۱۶، ۷ و ۱۲] در زمین‌شناسی و بخصوص در پردازش داده‌های ژئوشیمیایی توسعه یافته‌اند. در این پژوهش مدل‌های فرکتال عیار-تعداد و عیار-مساحت به منظور جداسازی آنومالی‌های ژئوشیمیایی از مقدار زمینه، تعیین محدوده‌های کانی‌سازی و مشخص کردن مرز عملیات اکتشافات تکمیلی در محدوده معدنی زرشوران به کار گرفته شده‌اند.

جداسازی آنومالی‌های ژئوشیمیایی از مقادیر زمینه^۱ برای عناصر گوناگون از مهم‌ترین بخش‌های یک پروژه اکتشافی است [۱۵ و ۱۱]. شاید بتوان گفت که مهم‌ترین نتایج حاصل از تحلیل داده‌های ژئوشیمیایی، جدایش جوامع مختلف ژئوشیمیایی از یکدیگر و نیز تعیین زمینه برای هر عنصر در منطقه مورد اکتشاف است. به عبارتی در صورت عدم تعیین مقادیر زمینه هر عنصر در هر منطقه میزان آنومالی‌ها در آن منطقه دچار نوسان شده و موجب رخداد خطاهای بزرگ در ارزیابی محدوده‌های امید بخش برای ادامه عملیات اکتشافی می‌شود. روش‌های متفاوت و گوناگونی برای پردازش داده‌های ژئوشیمیایی مورد استفاده قرار می‌گیرند. این روش‌ها را می‌توان به دو گروه اصلی تقسیم‌بندی نمود: گروه اول شامل روش‌هایی هستند که مبتنی بر فراوانی توزیع ژئوشیمیایی عناصر بوده و شامل روش‌هایی از قبیل میانگین \pm دو برابر انحراف معیار [۱۹]، ترسیم

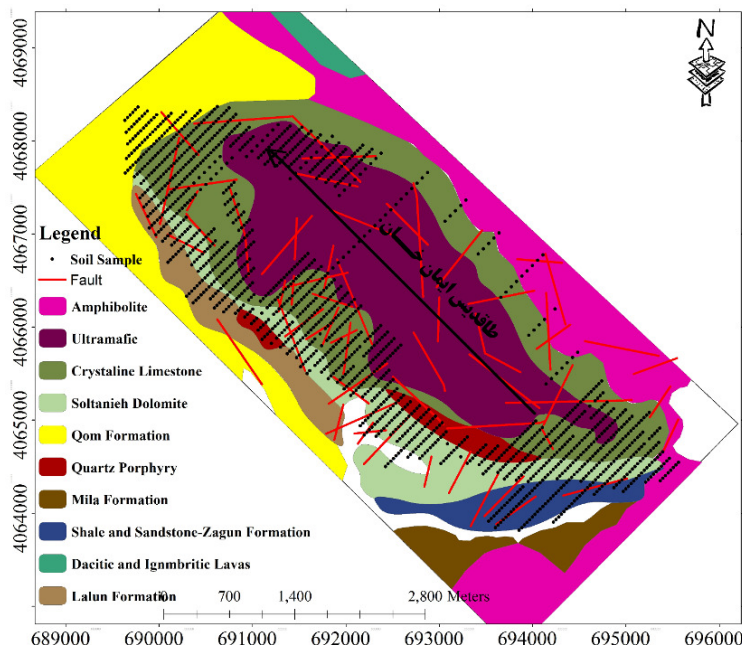
زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه

کانسار زرشوران در شمال باختری ایران و در ۴۹ کیلومتری شمال شهرستان تکاب و ۸ کیلومتری شمال

¹ background

قرار گرفته و سنگ میزبان اصلی کانسار را تشکیل می‌دهند. توف و ریولیت‌های اسیدی قره‌داش که هم‌ارز خروجی گرانتیت دوران محسوب می‌شود، بر روی واحد زرشوران قرار گرفته‌اند [۱]. در بخش باختری منطقه واحدهای دولومیتی معادل با سلطانیه، شیل و دولومیت معادل با سازند باروت و زاگون و ماسه‌سنگ لالون به طور هم‌شیب روی واحد ریولیتی قره‌داش قرار گرفته‌اند. پس از نبود ته‌نشینی طولانی از اردویسن تا الیگوسن، پیشروی دریای الیگومیوسن موجب ته‌نشست کنگلومرای بنفش، شیل میکا دار و ماسه‌سنگ‌های آهکی الیگومیوسن (معادل سازند قم) روی واحدهای قدیمی‌تر شده است [۳].

خاوری روستای زرشوران قرار دارد (شکل ۱). این منطقه از نظر تقسیمات ساختاری زمین‌شناسی در زون سنندج سیرجان قرار می‌گیرد [۲]. پی سنگ منطقه شامل دو مجموعه از سنگ‌های دگرگونی است، که مجموعه ایمان‌خان با ترکیب آمفیبول-پیدوت شیست، سرپانتینیت شیست، سریسیت کلریت شیست، کوارتز میکا شیست و کالک شیست در بخش زیرین و مجموعه چالداغ با ترکیب مرمر و کالک شیست در بخش فوقانی آن قرار دارد [۱ و ۴]. این مجموعه دگرگونی، ویژگی‌های رخساره شیست‌سبز را نشان می‌دهد [۴]. واحد سنگی زرشوران به ته‌نشست‌های آهک نازک لایه، دولومیت، شیل و میکاشیست‌های سیاه رنگ روی واحدهای قدیمی



شکل ۱. نقشه زمین‌شناسی محدوده کانسار زرشوران و موقعیت نمونه‌های ژئوشیمیایی نمونه‌های خاک برداشت شده

گرمایی در منطقه است [۱۶ و ۱۲]. مهم‌ترین دگرسانی‌های موجود در محدوده معدنی زرشوران شامل انواع سیلیسی، سربستی-آرژیلیک و آلونیتی می‌باشند. در کانسار زرشوران گسترده‌ترین دگرسانی از نوع سیلیسی است که بخصوص در زون کانه‌زایی واحد شیلی و آهکی زرشوران حائز اهمیت می‌باشد. در این واحدها عمدتاً سنگ بصورت برشی سیلیسی شده است و در بعضی نقاط همراه با کانی‌زایی باریت می‌باشد [۱۰] در سنگ آهک‌های بلوری واحد چالداغ در امتداد شکستگی‌ها، سنگ‌های آهکی سیلیسی شده‌اند و حتی در بعضی

بخش آهکی واحد قم در تغییرات جانبی به آهک ریفی تبدیل می‌شود که حاوی قطعات خارتنان، مرجان‌ها و دوکفه‌ای فراوانی است. نهشته‌های آواری معادل با سازند سرخ فوقانی متشکل از تناوب‌های ماسه‌سنگ‌های آهکی سرخ، رس، مارن و میکروکنگلومرا، جدیدترین واحد رسوبی دریایی منطقه را تشکیل می‌دهد و گدازه‌های آتشفشانی جوان از جنس آندزیت تا تراکی آندزیت با شیب ملایمی روی سازند سرخ فوقانی قرار می‌گیرند. نهشته‌های چشمه‌های آب گرم از نوع تراورتن در برخی از مناطق رخنمون‌هایی را تشکیل داده‌اند که نشانگر فعالیت

نرمال داده‌های خام و نیاز به تبدیل داده‌ها قبل از درون‌یابی می‌باشد (جدول ۲). روش‌های تبدیل کاکس و باکس [۲۱] و جوهانسون [۲۰] به عنوان ابزارهای قدرتمند، در توانایی تبدیل داده‌های خام مورد استفاده قرار گرفتند. با این وجود داده‌های انتقال یافته توسط روش کاکس و باکس و جوهانسون هنوز حالت نزدیک به توزیع نرمال از خود نشان می‌دهند (w~1).

تحلیل مولفه‌های اصلی

تحلیل مولفه‌های اصلی^۱ یکی از روش‌هایی است که می‌تواند به هدف آشکارسازی الگوهای پی‌جویی در درون مجموعه‌ای از متغیرها کمک کند. در پی‌جویی‌های معدنی، از رایج‌ترین کاربردهای روش تحلیل چند متغیره، شناسایی و نمایش روابط داده‌های ژئوشیمی سطحی در حجم بالا است. در اینجا هر کدام از فاکتورها به نوعی نماینده فرآیندهای زمین‌شناختی و فلززایی می‌باشند، که باعث همبستگی میان متغیرها می‌شوند (جدول ۳). در تحلیل مولفه‌های اصلی ارتباط بین عناصر موجود در گروه‌های زیر طبقه‌بندی می‌شود. گروه اول: Sb, As, Ag, Au و Hg گروه دوم: Ni, Mg, Fe, Cr و Co گروه سوم: Pb, Cu و P گروه چهارم: Re, Ga, Al, Th, Zr, Bi, Be و K. هر کدام از فاکتورهای موجود دارای تفاسیر خاص خود می‌باشند: گروه اول شامل عناصر Sb, As, Ag, Au می‌باشند که دارای همبستگی بالایی با یکدیگر بوده و از نظر زمین‌شناختی مرتبط با تمرکز این عناصر با مناطق کانی‌سازی بویژه در شیل زرشوران و آهک چالداغ می‌باشند، که در جنوب غرب محدوده مورد مطالعه قرار دارند. گروه دوم که مربوط به عناصر Ni, Co, Mg, Fe و Cr بوده، که در محدوده شیب‌های دگرسان شده ایمان‌خان و سنگ‌های مافیک هستند. عناصر گروه سوم به دلیل وجود بار فاکتوری متفاوت و متغیر در عناصر طیف وسیعی از عناصر را شامل شده و بنابراین نسبت به سایر گروه‌ها دارای توزیع بیش‌تری می‌باشند. هم‌چنین مجموعه عناصر موجود در گروه چهارم در مناطق با رخنمون‌هایی از سنگ‌های دگرسان شده غنی‌شدگی نشان می‌دهند.

مناطق بافت اولیه سنگ کاملاً حفظ گردیده است که نشان‌دهنده جان‌نشینی سیلیس بجای کربنات کلسیم می‌باشد. دگرسانی سرسیتی و آرژیلیکی در تمام طول کمربندی که شامل سنگ میزبان آهک و شیل سیاه است دیده می‌شود [۱۰].

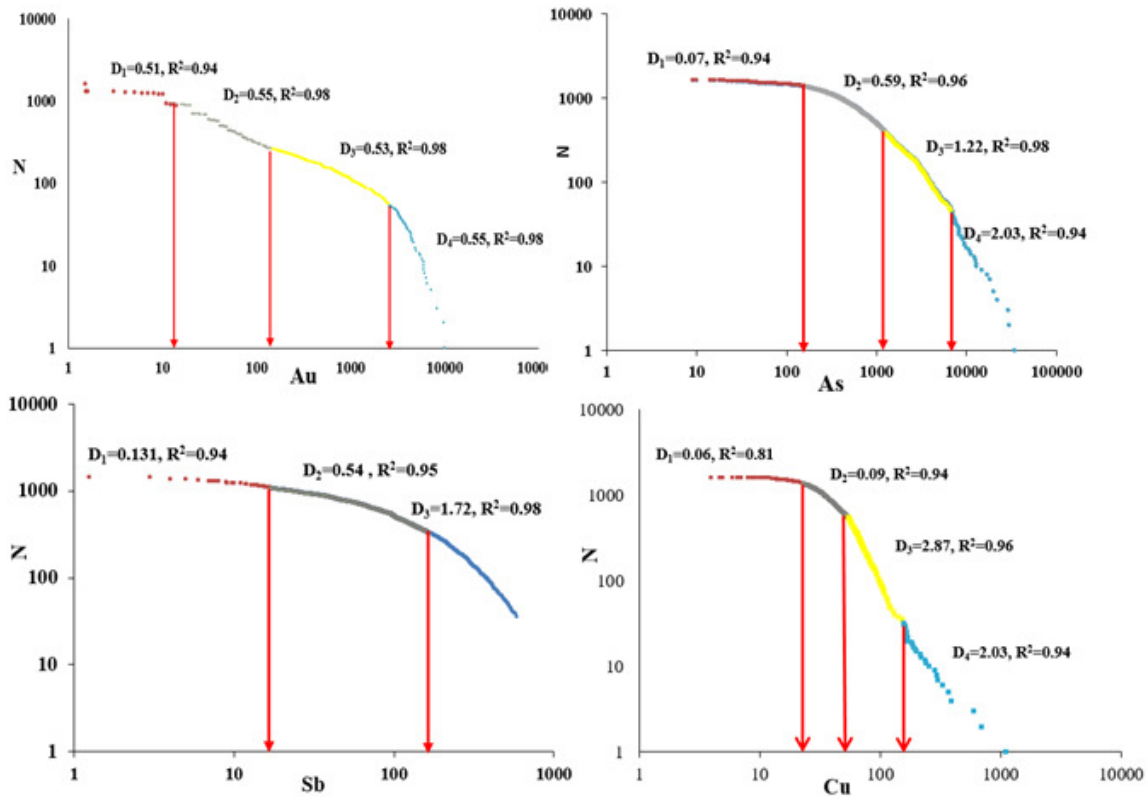
روش مطالعه

جهت بررسی توزیع ژئوشیمیایی عناصر و تعیین محدوده کانی‌سازی و مرز عملیات اکتشافی در محدوده کنسار زرشوران از نمونه‌های ژئوشیمیایی خاک برداشت شده توسط سازمان توسعه و نوسازی معادن و صنایع معدنی ایران (IMIDRO) استفاده شده است. نمونه‌های مذکور با شبکه ۱۰۰*۵۰ متر به مساحت تقریبی ۱۴/۵ کیلومتر مربع، به تعداد ۱۶۲۷ نمونه خاک سطحی برداشته شده، که در آزمایشگاه SGS مورد آنالیز ۴۵ عنصری به روش ICP-MS قرار گرفته‌اند. جهت اندازه‌گیری مقدار طلا از روش Fire Assay استفاده شده است. شکل ۲ موقعیت نمونه‌های برداشت شده را نشان می‌دهد.

روش‌های تحلیل آماری

نتایج مطالعات آمار توصیفی نمونه‌های خام ژئوشیمیایی در جدول ۱ ارائه شده است. به دلیل تنوع لیتولوژیکی، گسل‌ها، رخنمون‌های کانه‌زایی و دگرسانی‌های متنوع در نقاط نمونه‌برداری شده، پارامترهای آماری بسیار متغیر می‌باشند [۱۷]. به طوری که بالاترین عیار طلا در نمونه‌های برداشت شده ۱۸۰ برابر بیش‌تر از مقدار میانگین بوده و ضریب تغییرات Au، ۳۰۰ درصد می‌باشد. استفاده از برخی روش‌های آماری منوط بر نرمال بودن تابع توزیع متغیرهای مورد استفاده است. قبل از استفاده از این روش‌ها آزمون نرمال بودن داده‌های خام باید انجام شود. رایج‌ترین این روش‌ها آزمون Shafiro-Wilk (S-W) [۲۱] می‌باشد، که در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفته‌اند. آزمون Shafiro-Wilk از آماره w برای تخمین نرمال بودن داده‌های خام و تبدیل شده لگاریتمی مورد استفاده می‌شود. در صورتی که آماره w داده‌های خام برابر یا نزدیک به ۱ باشد، داده‌ها دارای توزیع نرمال هستند. مقادیر w داده‌های خام برای عناصر Cu, Sb, As, Au خیلی کمتر از ۱ می‌باشد که نشان دهنده عدم توزیع

¹ Principal component analysis



شکل ۲. نمودار لگاریتمی عیار- تعداد عناصر طلا، آرسنیک، آنتیموان و مس

جدول ۱. پارامترهای آماری بدست آمده از داده‌های بدست آمده از داده‌های لیتوژئوشیمیایی در کانسار زرشوران

پارامترهای آماری						
انحراف استاندارد	میان	میانگین	مینیمم	ماکزیمم	حد حساسیت دستگاه	عنصر
۹۱۶/۲۱	۲۰	۲۷۰/۰۳	۱/۵	۱۰۰۹۰	۱	Au (ppb)
۲۳۳۶/۱	۱۲۴۴/۵	۱۲۴۴/۵	۹	۳۴۵۶۹	۳	As (ppm)
۳۲۹/۴۲	۶۲	۱۴۱/۳۲	۹	۵۵۷۱	۲	Sb (ppm)
۴۸/۲۱	۵۰/۵۱	۴۲	۱/۲۵	۱۱۱۱	۰/۵	Cu (ppm)

جدول ۲. نتایج آزمون Shafiro-Wilk داده‌های ژئوشیمیایی در ناحیه معدنی زرشوران

آزمون آماری			
داده‌های تبدیل یافته	اعمال تبدیل	داده‌های خام	عنصر
۰/۹۱۱	باکس و کاکس	۰/۱۹۸	Au
۰/۹۴۱	باکس و کاکس	۰/۲۳۴	As
۰/۳۶۰	باکس و کاکس	۰/۳۶۰	Sb
۰/۲۳۱	جوهانسون	۰/۲۳۱	Cu

جدول ۳. تحلیل مولفه‌های اصلی نمونه‌های ژئوشیمیایی خاک برداشت شده

	مولفه								
	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹
Au	-۰/۳۳۴	-۰/۰۱۰	-۰/۰۸۵	۰/۰۸۹	۰/۷۵۹	۰/۳۳۰	-۰/۰۷۴	-۰/۰۷۸	۰/۳۱۰
Ag	۰/۱۲۵	-۰/۰۴۴	-۰/۰۲۰	۰/۱۹۷	۰/۷۷۹	۰/۰۸۸	-۰/۰۶۵	-۰/۱۳۱	۰/۰۴۸
Al	۰/۹۴۱	-۰/۰۹۶	۰/۰۰۰	۰/۰۵۹	-۰/۰۷۰	-۰/۰۳۴	۰/۱۹۵	-۰/۰۶۵	۰/۰۰۳
As	-۰/۳۵۲	-۰/۰۳۱	۰/۱۱۷	۰/۱۵۰	۰/۸۱۱	۰/۰۴۷	-۰/۰۰۳	-۰/۰۳۸	۰/۲۵۱
Ba	۰/۱۰۴	۰/۰۱۳	۰/۰۹۹	۰/۷۴۰	۰/۰۲۹	-۰/۰۰۹	-۰/۰۲۵	۰/۲۷۲	-۰/۰۱۹
Be	۰/۸۱۹	-۰/۰۱۹	۰/۰۱۴	۰/۱۳۲	۰/۰۵۷	۰/۰۲۱	۰/۰۲۱	۰/۲۴۶	-۰/۰۳۵
Bi	۰/۷۴۱	۰/۴۳۰	۰/۱۰۸	۰/۰۶۰	-۰/۱۶۷	۰/۳۸۷	۰/۱۳۸	۰/۰۰۰	-۰/۰۵۱
Ca	۰/۰۹۳	-۰/۱۲۷	-۰/۰۰۴	۰/۰۰۸	۰/۰۲۸	۰/۸۵۲	۰/۰۳۰	-۰/۰۵۳	۰/۰۸۶
Cd	۰/۰۴۲	-۰/۰۱۸	-۰/۰۰۹	۰/۲۱۰	-۰/۰۹۳	۰/۱۰۴	۰/۰۲۶	-۰/۰۹۷	۰/۵۵۲
Ce	۰/۸۷۶	-۰/۱۴۵	۰/۱۳۷	۰/۱۲۴	-۰/۰۸۹	-۰/۰۱۱	۰/۰۰۵	۰/۱۴۷	۰/۰۸۳
Co	-۰/۱۱۴	۰/۹۲۵	۰/۰۴۹	۰/۱۰۶	-۰/۰۰۶	-۰/۰۲۸	-۰/۰۰۹	۰/۱۰۰	۰/۰۴۳
Cr	-۰/۱۵۷	۰/۸۴۹	۰/۰۷۶	۰/۰۸۹	۰/۰۱۲	-۰/۰۸۶	-۰/۰۰۴	۰/۰۴۰	-۰/۰۲۴
Cu	۰/۱۶۵	۰/۰۱۵	۰/۷۶۰	-۰/۱۲۲	۰/۱۷۲	-۰/۱۶۳	۰/۰۳۰	-۰/۰۷۵	۰/۲۶۲
Fe	۰/۴۱۲	۰/۸۰۶	۰/۰۵۵	۰/۱۵۵	-۰/۰۲۶	-۰/۰۱۶	۰/۱۳۸	۰/۱۵۷	۰/۰۸۹
Ga	۰/۹۴۶	-۰/۱۶۵	۰/۰۶۷	۰/۰۰۹	-۰/۰۷۶	-۰/۰۲۹	۰/۰۹۲	-۰/۰۳۷	۰/۰۰۸
ge	۰/۲۲۴	۰/۱۲۰	۰/۴۹۵	۰/۴۴۸	-۰/۱۱۹	۰/۱۱۶	۰/۱۰۰	-۰/۰۰۷	۰/۰۸۴
Hg	-۰/۱۹۲	-۰/۱۰۵	۰/۰۹۲	۰/۱۰۷	۰/۷۵۴	-۰/۱۶۹	۰/۰۱۷	۰/۰۳۳	۰/۱۱۵
In	۰/۷۳۸	-۰/۴۱۹	۰/۰۹۸	۰/۱۳۶	-۰/۱۷۲	۰/۳۶۵	۰/۱۳۷	۰/۰۴۷	-۰/۰۵۵
K	۰/۹۱۵	-۰/۲۳۷	۰/۰۰۶	۰/۰۳۸	-۰/۰۶۳	-۰/۰۱۶	-۰/۱۴۹	-۰/۰۸۱	-۰/۰۳۹
La	۰/۸۲۸	۰/۰۱۳۶	۰/۰۹۴	۰/۱۴۷	-۰/۰۸۴	۰/۰۲۶	-۰/۰۰۱	۰/۱۸۴	۰/۱۱۲
Li	۰/۷۳۳	۰/۰۴۱	۰/۱۵۰	۰/۱۵۸	-۰/۰۶۷	۰/۰۴۰	۰/۳۳۴	۰/۲۳۴	۰/۱۲۴
Mg	۰/۲۲۴	۰/۷۹۵	-۰/۰۲۸	-۰/۱۹۰	-۰/۱۴۸	۰/۱۳۸	۰/۰۱۱	-۰/۱۰۷	-۰/۱۱۵
Mn	۰/۱۶۷	۰/۱۰۴	۰/۲۳۶	۰/۳۴۶	-۰/۰۵۹	۰/۰۰۶	۰/۰۴۴	۰/۷۰۷	-۰/۲۳۳
Mo	۰/۳۰۸	۰/۰۳۵	۰/۳۷۶	۰/۲۴۸	۰/۰۰۴	۰/۰۷۸	-۰/۱۳۵	۰/۳۳۸	۰/۲۰۵
Na	۰/۴۴۳	۰/۰۵۴	-۰/۰۶۰	-۰/۰۶۶	۰/۰۵۹	۰/۰۳۵	۰/۱۹۴	-۰/۰۰۷	۰/۰۱۹
Nb	۰/۸۴۷	۰/۰۳۴	-۰/۰۳۶	۰/۰۴۸	-۰/۱۱۵	۰/۰۱۰	۰/۲۴۲	۰/۰۴۰	-۰/۰۴۴
Ni	-۰/۲۲۲	۰/۹۳۰	-۰/۰۴۱	۰/۰۵۶	-۰/۰۱۶	۰/۰۰۹	-۰/۰۶۰	۰/۰۶۸	۰/۰۳۴
P	۰/۰۵۲	۰/۱۱۹	۰/۷۸۰	۰/۲۰۶	-۰/۱۰۷	۰/۱۷۱	۰/۱۷۶	۰/۰۳۹	۰/۰۴۳
Pb	۰/۰۳۷	-۰/۰۸۰	۰/۸۳۸	۰/۰۸۶	۰/۱۷۹	-۰/۰۳۱	-۰/۰۰۵	۰/۰۵۰	۰/۰۳۷
Rb	۰/۸۹۷	-۰/۲۱۷	۰/۰۱۳	۰/۰۵۴	-۰/۰۵۹	-۰/۰۶۴	-۰/۱۴۰	-۰/۰۲۲	-۰/۰۴۹
S	۰/۲۷۹	۰/۰۳۴	۰/۲۵۹	۰/۷۶۹	۰/۰۱۵	۰/۰۰۶	۰/۰۵۹	۰/۰۲۴	-۰/۰۷۶
Sb	-۰/۱۲۵	-۰/۰۸۱	۰/۴۴۰	۰/۲۴۰	۰/۷۵۳	-۰/۰۱۶	-۰/۰۳۲	۰/۱۱۴	-۰/۱۸۹
Sc	۰/۷۳۷	۰/۳۷۴	-۰/۰۱۷	۰/۰۱۳	-۰/۰۶۱	۰/۰۸۴	-۰/۳۶۸	۰/۰۳۴	۰/۰۴۵
Se	۰/۷۳۹	۰/۴۲۹	۰/۱۰۳	۰/۱۳۸	-۰/۱۷۷	۰/۳۶۵	۰/۱۲۷	۰/۰۴۳	-۰/۰۶۵
Sn	۰/۵۲۰	۰/۱۹۶	۰/۰۵۹	۰/۰۰۵	-۰/۰۷۰	۰/۲۰۹	۰/۰۳۲	-۰/۰۷۱	-۰/۱۲۴
Sr	۰/۳۹۶	۰/۰۵۹	۰/۰۵۸	۰/۳۷۵	-۰/۰۲۷	۰/۳۰۰	۰/۵۰۰	-۰/۰۳۱	-۰/۰۵۵
Ta	۰/۶۸۸	۰/۴۱۷	۰/۰۸۸	۰/۱۳۱	-۰/۱۶۶	۰/۳۴۷	۰/۱۰۸	۰/۰۶۵	-۰/۰۶۳
Te	۰/۴۵۷	۰/۲۹۰	۰/۰۰۱	۰/۰۰۴	۰/۰۵۹	۰/۵۹۳	۰/۰۱۸	۰/۰۲۲	۰/۰۷۱
Th	۰/۸۹۵	-۰/۱۷۷	۰/۰۷۱	۰/۰۴۵	-۰/۰۹۳	۰/۰۱۰	-۰/۱۳۵	-۰/۰۴۰	۰/۰۲۷
Ti	۰/۸۵۴	-۰/۱۰۱	-۰/۰۴۵	۰/۰۱۹	-۰/۰۶۶	-۰/۰۵۷	۰/۳۶۸	-۰/۰۳۴	-۰/۰۴۰
Tl	۰/۰۰۸	۰/۱۹۳	-۰/۰۲۸	۰/۸۳۱	-۰/۰۷۰	-۰/۰۴۲	۰/۰۰۵	۰/۱۵۹	۰/۳۰۰
U	۰/۴۲۲	۰/۳۷۱	۰/۰۵۹	۰/۳۶۰	-۰/۰۵۲	۰/۱۸۹	۰/۰۱۳۸	-۰/۲۳۲	-۰/۰۱۴
V	۰/۸۴۱	۰/۱۱۷	۰/۰۵۲	۰/۰۳۴	-۰/۰۴۹	-۰/۰۶۵	۰/۳۶۵	۰/۰۶۱	-۰/۰۴۶
Yt	۰/۷۱۴	-۰/۰۶۲	۰/۱۷۲	۰/۲۲۹	-۰/۰۸۸	-۰/۰۰۸	۰/۱۸۴	۰/۳۶۳	۰/۲۱۴
W	۰/۰۵۶	۰/۱۲۲	۰/۰۹۸	۰/۱۰۵	۰/۰۴۰	۰/۰۴۷	۰/۰۳۰	۰/۷۲۷	-۰/۱۴۰
Zn	-۰/۰۹۳	۰/۰۰۶	۰/۳۴۵	۰/۰۹۵	۰/۲۳۴	۰/۰۹۲	-۰/۰۰۸	-۰/۰۶۰	۰/۷۳۱
Zr	۰/۵۸۹	۰/۰۱۱	-۰/۰۷۰	-۰/۰۷۶	۰/۱۲۱	-۰/۰۲۱	۰/۰۵۴۳	۰/۱۵۳	۰/۰۱۲

روش‌های مولتی فرکتال

مدل فراکتال عیار - تعداد

روش فرکتالی عیار - تعداد (C-N)، یکی از انواع مدل‌های فرکتالی N-S است. اساس این روش بر اساس رابطه معکوس بین عیار و فراوانی تجمعی هر عیار و عیارهای بالاتر از آن است. این روش براساس فرمول زیر معرفی می‌شود [۱۲ و ۱۱].

$$N(\geq C) \propto p^{-\beta}$$

در رابطه بالا، C و N به ترتیب غلظت و فراوانی عیار عنصر مورد نظر می‌باشند، هم‌چنین، $N(\geq C)$ برابر با تعداد نمونه‌هایی است که دارای عیار مساوی و بالاتر از C هستند. β برابر عیار و β برابر بُعد فرکتال است. مزیت این روش در این است که قبل از تخمین و با داده‌های خام و اصیل اکتشافی، محاسبات را انجام می‌دهد. به عبارتی، در این روش، داده‌ها نیاز به پردازش و تخمین ندارند [۱۱].

مدل فرکتالی عیار - مساحت

روش فراکتالی عیار - مساحت، یکی از مرسوم‌ترین روش‌ها برای نمایش توزیع عیار یک عنصر در یک منطقه، ترسیم نقشه کانتوری هم عیار در منطقه مورد مطالعه می‌باشد. اگر مقدار هر کانتور ρ در نظر گرفته شود، می‌توان یک معادله توانی را ارائه نمود [۹ و ۱۳].

$$A(>\rho) \propto \rho^{-D}$$

مقدار D در واقع بُعد فراکتالی مربوط به دامنه‌های متفاوت ρ را نشان می‌دهد. با ترسیم تغییرات مساحت در برابر عیار، در نمودار لگاریتمی، می‌توان بُعد هر جامعه را از طریق شیب خط برازش شده به آن محاسبه نمود. بُعد فراکتال بدست آمده به نحوی بیان‌کننده میزان مساحت احاطه‌کننده داده‌های موجود می‌باشد به طوری که بُعد فرکتال آخرین خط برارش که دارای عیار بالایی می‌باشد، معمولاً دارای مقدار کمتری می‌باشد که بیان‌کننده مقدار مساحت کمتر نمونه‌های با عیار بالا می‌باشد.

در این پژوهش به منظور جدایش جوامع ژئوشیمیایی بر اساس روش عیار - مساحت از روش ارزش‌گذاری پیکسل‌ها استفاده شده است، به نحوی که ابتدا نمونه‌های خام ژئوشیمیایی را در محیط GIS به نقاط رستری با فاصله تخمین 10×10 تهیه کرده، سپس نقشه سطوح ژئوشیمیایی تک‌عنصری تشکیل می‌گردد. با اعمال روش

طبقه‌بندی با فواصل ۵ درصدی در جدول توصیفی که یکی از توابع رایج در GIS می‌باشد تعداد پیکسل‌های موجود در هر طبقه مشخص می‌گردد. با اعمال روش فراکتال عیار - مساحت بر روی ارزش پیکسل‌های موجود تخمین آستانه با دقت بیش‌تری صورت می‌پذیرد. بنابراین این روش یکی از پرکاربردترین روش‌ها در در اکتشاف داده‌های سطحی می‌باشد.

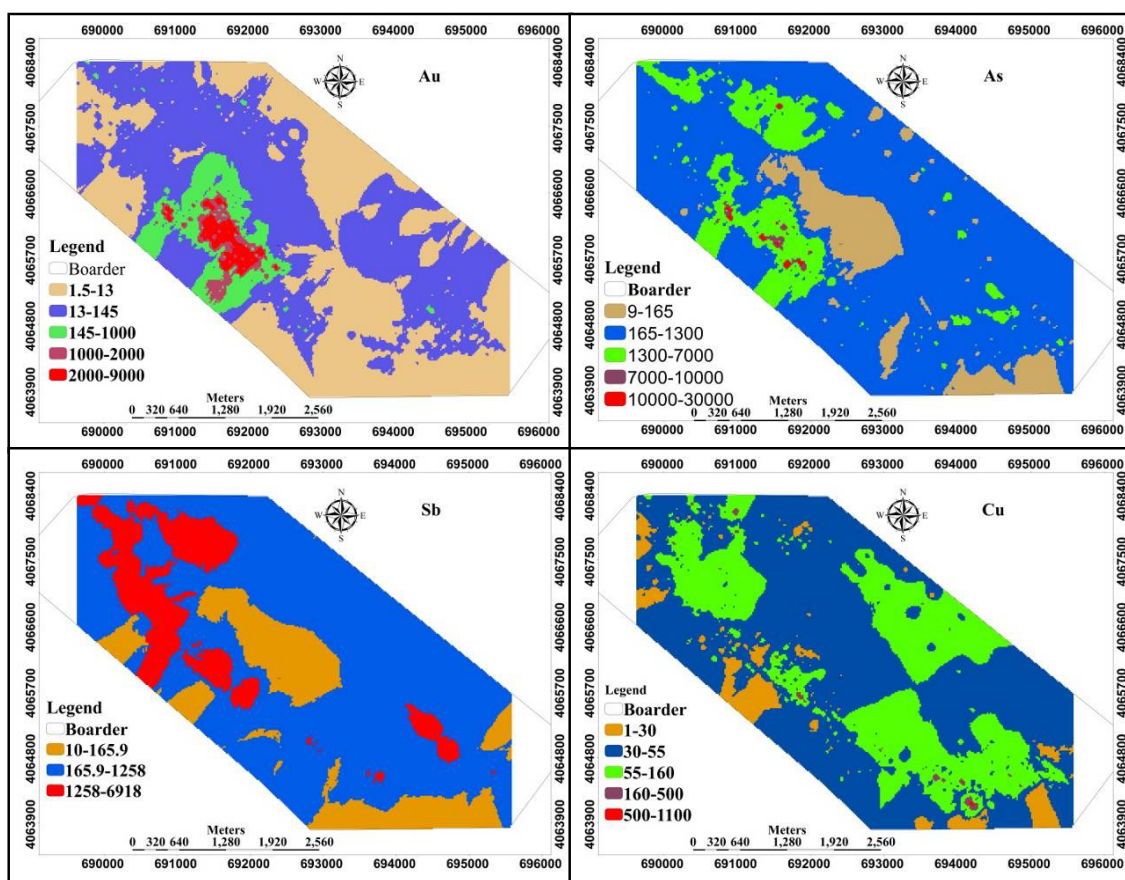
بحث

بر اساس مدل‌های فرکتالی عیار - تعداد و عیار - مساحت، نمودارهای لگاریتمی، چندین جمعیت ژئوشیمیایی برای Au, As, Cu و Sb را نشان می‌دهند (شکل ۳). هر کدام از جمعیت‌های ژئوشیمیایی، دارای توزیع خاص خود می‌باشند. پرواضح است، در نتیجه رفتار غیرهمسان عناصر، در محیط‌های ژئوشیمیایی مختلف، محدوده ژئوشیمیایی عناصر که از روش‌های عیار - تعداد و عیار - مساحت به دست آمده‌اند، با ساختارهای زمین‌شناختی منطقه از قبیل، واحدهای لیتولوژیکی، گسل‌ها و دگرسانی‌ها در ارتباط می‌باشند. این توانایی منحصر به فرد به دلیل ماهیت فرکتالی توزیع عناصر در طبیعت است. این مسئله سبب می‌شود که در جدایش آنومالی‌های ژئوشیمیایی، نیازی به حذف مقادیر خارج از رده نباشد، زیرا به دلیل ماهیت فرکتالی داده‌ها ژئوشیمیایی، به طور خودکار این داده‌ها کنار گذاشته می‌شوند.

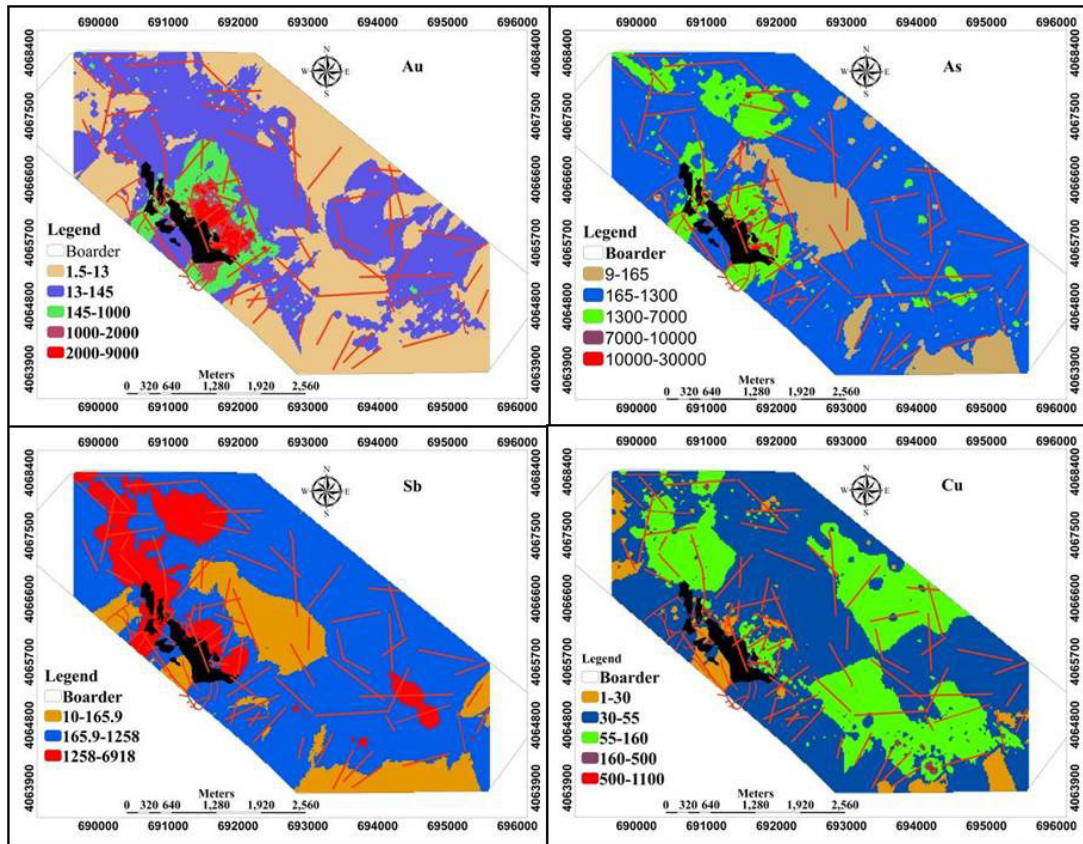
منحنی فرکتال عیار - تعداد برای عنصر طلا، نشانگر چهار جامعه ژئوشیمیایی مختلف در کانسار زرشوران می‌باشد (شکل ۳). بر اساس نقاط شکست بدست آمده در این نمودار، توزیع جوامع ژئوشیمیایی مختلف عنصر طلا در شکل ۴ آورده شده است. جامعه اول، که شیبی نزدیک به خط افق دارد، در واقع زمینه طلا در این کانسار می‌باشد. بنابراین، می‌توان مقدار زمینه عنصر طلا $13/48$ ppb در نظر گرفت. جامعه دوم، که با رنگ آبی در نقشه توزیع ژئوشیمیایی نمایان شده است، دامنه عیار بین $13/48$ تا $144/54$ ppb را نشان می‌دهد (شکل ۴). جمعیت سوم با رنگ سبز دارای عیاری بین $144/54$ تا $2961/53$ را نشان می‌دهد. جامعه چهارم که دارای شیبی نزدیک به خط عمود می‌باشد، شدیدترین نوع آنومالی را در منطقه نشان می‌دهد، و دارای عیار بالاتر از

فرکتالی پایین، مربوط به محدوده‌های کانه‌زایی با تعداد کم می‌باشند (جدول ۴)، که در واقع دارای انطباق با رخنمون‌هایی از شیل زرشوران، بخش‌های سیلیسی شده آهک چالداغ، رگه‌های گرمابی و دگرسانی‌های موجود در منطقه می‌باشند. انطباق گسل‌های کنترل‌کننده و دگرسانی‌های موجود با جمعیت‌های ژئوشیمیایی تعیین شده با روش‌های عیار-تعداد در شکل ۵ نشان داده شده‌اند که اغلب شامل دگرسانی‌های سیلیسی، ماسه‌ای، آرژیلیکی، و سوپرژن می‌باشند. سنگ آهک‌های سیلیسی شده محصول نفوذ و جایگزینی محلول‌های سیلیسی به داخل آهک‌های چالداغ می‌باشند. علاوه بر کانی‌سازی‌های ذکر شده، کانی‌سازی رگه‌ای هم در کانسار زرشوران به وفور دیده می‌شود. این رگه‌ها اغلب به صورت درز و شکاف‌ها و فضا‌های خالی سنگ بوده و اغلب ظاهر سیلیسی در داخل آهک متبلور چالداغ می‌باشد.

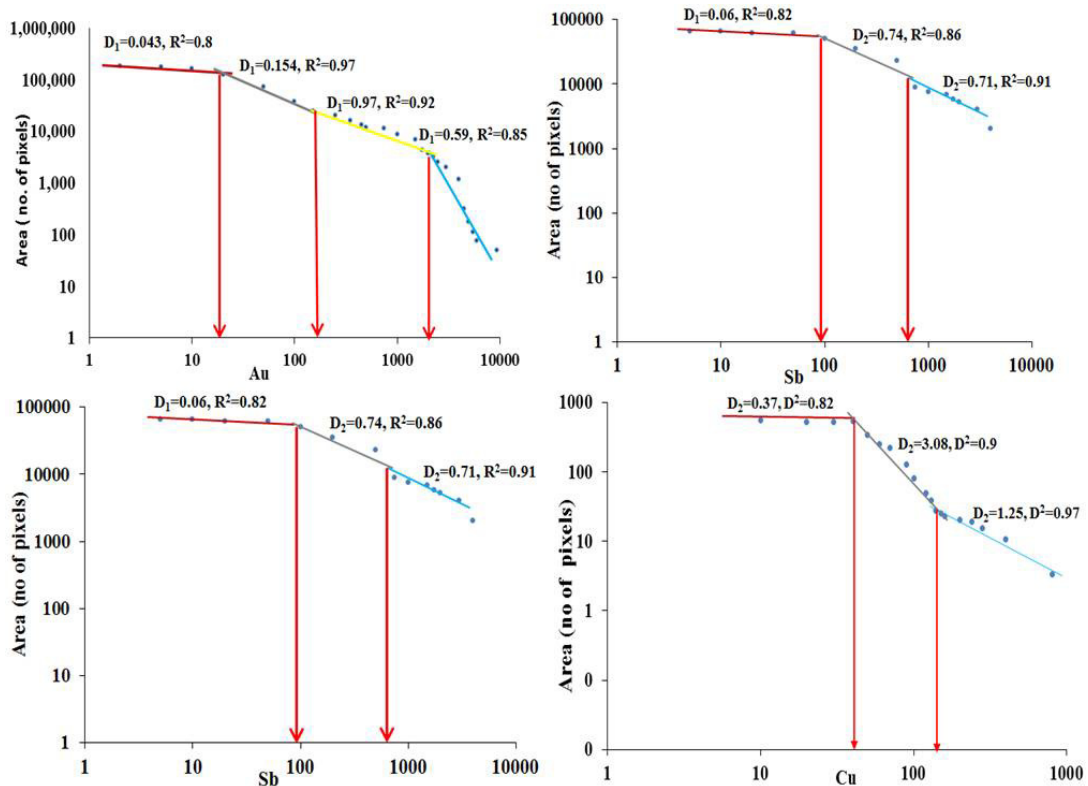
۲۶۹۱ ppb می‌باشد (جدول ۴). جمعیت‌های ژئوشیمیایی مختلف، همراه با دامنه تغییرات زیاد، نشان‌دهنده فاکتورهای متنوع زمین‌شناختی از قبیل، تنوع لیتولوژی، فرآیندهای ژئوشیمیایی و ساختاری می‌باشند، که می‌توان ارتباط بین ساختارهای زمین‌شناسی و دگرسانی‌های موجود در منطقه در شکل ۵ به خوبی مشاهده کرد. محدوده عیار جمعیت اول و دوم، که دارای عیار پایینی هستند، مربوط به واحد ایمان‌خان هستند که ترکیبی از اپیدوت شیست، کلریت شیست و سرپانتینیت شیست می‌باشند. محدوده عیار مربوط به جمعیت سوم، دارای بُعد فرکتالی بالاتری بوده و بیش‌تر توزیع آن در بخش جنوب غربی کانسار زرشوران قرار دارد، که از یک سری گسل‌های نرمال، رخنمون آهک‌های سیلیسی، رگه‌های کوارتزی و کارست تشکیل شده است (شکل‌های ۴ و ۵). این پارامترها به عنوان مهم‌ترین کنترل‌کننده‌های کانه‌زایی در زرشوران می‌باشند. جمعیت چهارم، با بُعد



شکل ۳. نقشه توزیع جوامع ژئوشیمیایی عناصر مورد نظر بر اساس روش فرکتال عیار - تعداد



شکل ۴. ارتباط بین آلتراسیون سیلیسی (پلی گون سیاه رنگ) و گسل‌های موجود در بین جوامع ژئوشیمیایی در مدل فرکتال عیار-تعداد



شکل ۵. نمودار لگاریتمی عیار-مساحت عناصر طلا، آرسنیک، آنتیموان و مس

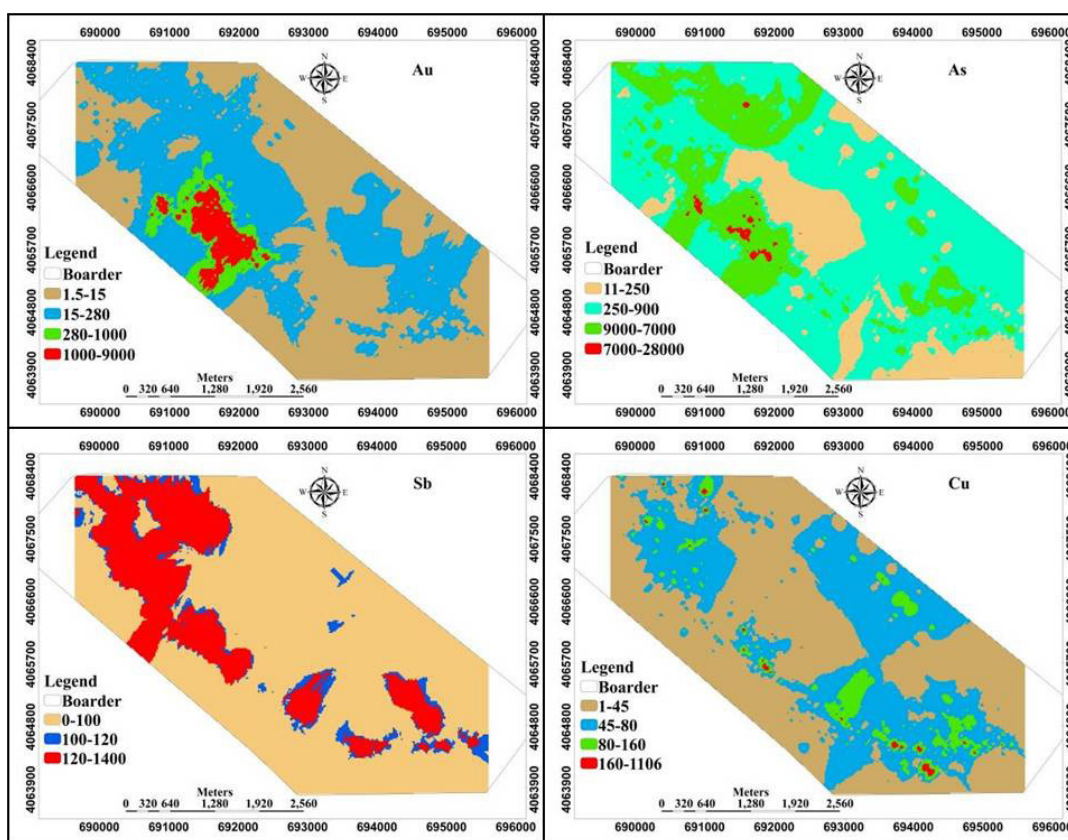
عیار- مساحت، بُعد فرکتال از جمعیت ژئوشیمیایی اول به سومین جمعیت ژئوشیمیایی افزایش می‌یابد (شکل ۶ و جدول ۴)، نشان‌دهنده افزایش عیار، پیکسل‌ها (ارزش پیکسل‌ها)، مساحت احاطه شده در مناطق همراه با کانه‌زایی با سرعت بیش‌تری نسبت به مناطق فاقد کانه‌زایی کاهش می‌یابد.

مدل فرکتال عیار - مساحت طلا نیز چهار جمعیت ژئوشیمیایی را نشان می‌دهد (شکل ۶). جمعیت ژئوشیمیایی اول سازگار با آنچه که از مدل عیار- تعداد بدست آمده، می‌باشد. آستانه جمعیت دوم در مدل عیار - مساحت بیش‌تر از معادل آن در مدل عیار - تعداد است، که نشان‌دهنده این است که مدل عیار - مساحت، مساحت کوچک‌تری با عیار بالاتر نشان می‌دهد. در مدل

جدول ۴. مقادیر آستانه و ابعاد فرکتالی حاصله از روش‌های عیار-تعداد و عیار- مساحت عناصر مورد نظر در منطقه زرشوران

عنصر	T1	D1		T2		D2		T3		D3		T4		D4	
		N-S	C-A	N-S	C-A	N-S	C-A	N-S	C-A	N-S	C-A	N-S	C-A	N-S	C-A
Au	۱/۵	۰/۵۱	۰/۱۵	۱۳/۴۸	۱۵/۴۸	۰/۵۴	۰/۷۴	۱۴۴/۵	۲۸۱/۸	۰/۵۴	۰/۹۷	۲۶۹۱	۲۶۳۰	۰/۲۷	۳/۵۹
As	۹	۰/۰۷	۰/۰۴	۱۶۵/۹	۲۳۳	۰/۵۹	۰/۹۲	۱۲۵۳	۸۹۱/۲۵	۱/۲۲	۱/۸۵	۶۹۸۱/۳۱	-	۱/۰۳	-
Sb	۱/۲۵	۰/۱۳	۰/۰۶	۱۶/۲۱	۱۰۰	۰/۵۴	۰/۴۴	۱۰۰	۷۹۴/۳۲	۱/۷۲	۱/۴۸	-	-	-	-
Cu	۲	۰/۰۶	۰/۰۳۷	۲۱/۳۷	۵۰	۰/۹۴	۳/۰۸	۱۵۲/۴۸	۱۵۸/۴۸	۲/۸۷	۱/۲۵	۱۵۴/۸۸	-	۱/۷۳	-

پارامترهای D و T نشان‌دهنده مقدار آستانه و بُعد فرکتال می‌باشند. N-S و C-A به ترتیب عیار-تعداد و عیار-مساحت می‌باشند.



شکل ۶. نقشه توزیع جوامع ژئوشیمیایی عناصر مورد نظر بر اساس روش فرکتال عیار- مساحت

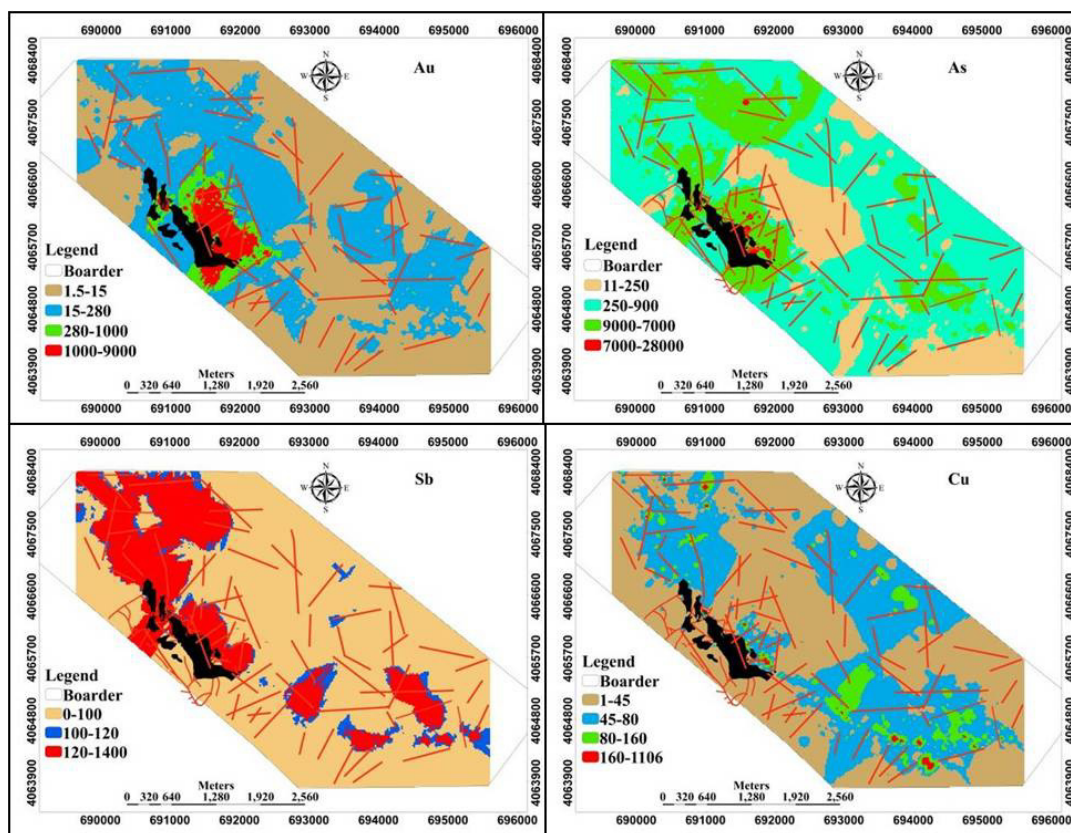
و ارزش پیکسل‌های با فواصل ۱۰ متری و فاصله ۵ درصدی)، بُعد فرکتال در جمعیت چهارم نسبت به ابعاد دیگر کوچک‌تر می‌باشد، که نشان‌دهنده احاطه شدن مناطق با آنومالی بالا در مناطق کانه‌زایی با مساحت کم می‌باشد، این مسئله در تضاد با ابعاد فرکتال توزیع عیار

بُعد فرکتال محاسبه شده از مدل‌های عیار - تعداد و عیار - مساحت با هم متفاوت می‌باشند (جدول ۴)، که تأیید کننده توزیع ناهمسان عیار در منطقه مورد مطالعه می‌باشد (شکل ۷). هم‌چنین دقت تخمین متفاوت (تخمین با استفاده از داده‌های خام در روش عیار- تعداد

طاقدیس ایمان خان می‌باشد، که از شیست‌های سبز تشکیل شده است. جمعیت دوم که در محدوده عیاری ۱۶۵ تا ۱۲۵۹ ppm می‌باشد و با رنگ آبی در نقشه توزیع عیار آرسنیک مشخص شده است، محدوده وسیعی از منطقه مورد مطالعه را پوشش می‌دهد، که به عنوان نخستین آنومالی آرسنیک مشخص تعیین می‌شود. جمعیت ژئوشیمیایی سوم، در محدوده عیار ۱۲۵۹ تا ۶۹۱۸ ppm قرار دارد، که به رنگ سبز در نقشه توزیع عیار آورده شده است. این جمعیت، انطباق خوبی با منطقه معدنی زرشوران داشته، و از طرفی بخش‌هایی از طرف شمال منطقه نیز در این محدوده آنومالی قرار می‌گیرند، که تاکنون هیچ‌گونه عملیات اکتشافی در آن صورت نگرفته است. آنومالی همراه با غنی‌شدگی شدید آرسنیک در جمعیت چهارم مشاهده می‌شود که انطباق با رخنمون‌های سطحی شیل زرشوران، نقشه پراکندگی دگرسانی‌ها و کنترل‌کننده‌های ساختاری (شکل ۵) و منطبق با بخش غنی شده طلا در نقشه توزیع عیار طلا می‌باشد.

عناصر در مناطق با فاقد کانه‌زایی است. هم‌چنین به مانند روش عیار-تعداد، جمعیت‌های ژئوشیمیایی تعیین شده با عیار بالا در روش عیار-مساحت دارای انطباق بسیار خوبی با کنترل‌کننده‌های ساختاری و ژئوشیمیایی (دگرسانی سیلیسی) می‌باشند (شکل ۸).

آرسنیک به عنوان عنصر ردیاب طلا، عنصر همراه با کانه‌زایی در کانساز زرشوران، و قرار گرفتن آن در یک گروه در تحلیل مولفه‌های اصلی، مدل‌های فرکتالی عیار-تعداد و عیار-مساحت برای آن محاسبه، و نقشه جمعیت‌های ژئوشیمیایی برای آن ترسیم شد (شکل‌های ۴ و ۷). بر اساس مدل عیار - تعداد، مانند عنصر طلا، چهار جمعیت ژئوشیمیایی به وضوح در این کانساز برای طلا مشاهده می‌شود (شکل ۳) که نقشه توزیع جوامع ژئوشیمیایی آن نیز در شکل ۴ آورده شده است. جامعه نخست در سمت راست نمودار، که دارای خط برآزش افقی است، به عنوان زمینه آرسنیک در منطقه می‌باشد و حد آستانه در این محدوده بالغ بر ۱۶۵ ppm است. این بخش، که با رنگ خاکستری در نقشه توزیع عیار طلا نشان داده شده است (شکل ۴)، منطبق با رخنمون



شکل ۷. ارتباط بین آلتراسیون سیلیسی (پلی‌گون سیاه رنگ) و گسل‌های موجود در بین جوامع ژئوشیمیایی در مدل فرکتال عیار-مساحت

محدوده عیاری بالاتر از ۱۵۸ ppm در مدل عیار-مساحت و ۵۲/۴۸ تا ۱۵۸/۸۸ ppm در مدل عیار مساحت می‌باشد. در نهایت جامعه در مدل عیار - مساحت جامعه چهارم، عیار بالاتر از ۱۵۸/۸۸ ppm را نشان می‌دهد که در انطباق با شیست‌های ایمان‌خان می‌باشند. هم‌چنین جمعیت‌های ژئوشیمیایی تعیین شده با هر دو روش عیار-تعداد و عیار-مساحت دارای همبستگی منفی با کنترل‌کننده‌های ساختاری و ژئوشیمیایی (دگرسانی سیلیسی) می‌باشند (شکل ۸). بر اساس مدل عیار-تعداد مقدار آستانه آنتیموان، ۱۶/۲۱ ppm می‌باشد و بالاترین مقدار آنومالی آن قسمتی از منطقه زرشوران می‌باشد که آنومالی بیش از ۱۶۵/۹۵ ppm را دارد. تفسیر مدل عیار-تعداد و عیار-مساحت، ممکن است در نتیجه سه مرحله غنی‌شدگی، با مقادیر زمینه متفاوت می‌باشد که با استفاده از مدل‌های عیار-تعداد و عیار-مساحت از هم جدا شده‌اند (شکل‌های ۳ و ۶) آنومالی‌های بالای آنتیموان در انطباق با آنومالی‌های آرسنیک و طلا می‌باشند، که نشان دهنده همراه آنتیموان در کانه‌زایی طلا و آرسنیک در منطقه زرشوران می‌باشد.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش مدل‌های فرکتالی عیار-تعداد و عیار-مساحت به عنوان ابزاری ساده و مفید در جدایش آنومالی‌های ژئوشیمیایی از زمینه در ژئوشیمی اکتشافی در محدوده معدنی کانسار طلا زرشوران استفاده گردید. نتایج مدل‌سازی فرکتالی عیار-تعداد و عیار-مساحت با زون‌های دارای کانی‌سازی و گسل‌های موجود در منطقه مقایسه شدند و مشخص گردید که آنومالی‌های بدست آمده، دارای انطباق بسیار قوی با مجموعه آهکی سیلیسی شده، واحد شیل سیاه (گوژ سیاه) زرشوران و مناطق گسله با روند شمال شرق - جنوب غرب می‌باشند. مقادیر آستانه بدست آمده از روش‌های مورد استفاده تقریباً مشابه بوده، که به طور کلی در منطقه مورد نظر با توجه به لیتولوژی موجود و فرآیندهای ژئوشیمیایی عنصر قابل تشخیص می‌باشد. بر اساس مقدار آستانه‌های بدست آمده، توزیع غلظت عناصر را در هر دو روش می‌توان به سه گروه تقسیم‌بندی نمود، که هر کدام دارای انطباق نسبی با تیپ سنگی خاصی از قبیل: سنگ‌های مافیک، سرپانتین شیست (در تاقدیس ایمان‌خان)، آهک چالداغ

در مدل فرکتال عیار-مساحت برای عنصر آرسنیک سه جمعیت ژئوشیمیایی قابل مشاهده است (شکل ۶). جمعیت اول، دارای شیب تقریباً نزدیک به افق می‌باشد، دارای عیار کمتر از ۲۵۰ ppm بوده و در نقشه توزیع ژئوشیمیایی با رنگ خاکستری مشخص شده است (شکل ۸). این جمعیت در انطباق با رخنمون شیست‌های ایمان‌خان می‌باشد. جمعیت دوم، که در محدوده عیار ۲۵۰ تا ۹۰۰ ppm آرسنیک می‌باشد، دارای گسترش بیشتری بوده و جزء نخستین آنومالی آرسنیک، در مدل عیار-مساحت در نظر گرفته می‌شود. جمعیت ژئوشیمیایی سوم، دارای عیار بیش‌تر از ۸۹۱ ppm، بوده و با رنگ‌های سبز و قرمز در نقشه توزیع عیار آرسنیک آورده شده است. انطباق آنومالی‌های طلا و آرسنیک و هم‌چنین در نقشه‌های توزیع ژئوشیمیایی گواه بر کانه‌زایی طلا و آرسنیک با یکدیگر می‌باشد که در مطالعات دگرسانی‌های موجود پتروگرافی و ژئوشیمیایی نیز توسط [۲] نیز تأیید شده است.

منحنی لگاریتمی فرکتال عیار - تعداد، چهار جامعه و منحنی عیار - مساحت، سه جامعه ژئوشیمیایی را برای عنصر مس نشان می‌دهند (شکل ۴). بر اساس این نمودارها، توزیع عیار عنصر مس نیز خاصیت مولتی فرکتالی از خود نشان می‌دهد. جامعه اول، که شیب خط برازش نزدیک به خط افق دارد، در هر دو مدل بیان‌کننده مقدار زمینه کم مس در کانسار زرشوران می‌باشد. یعنی حد آستانه مس در این کانسار در مدل عیار-تعداد ۲۱/۳۷ ppm و در مدل عیار-مساحت ۵۰ ppm می‌باشند، که در نقشه توزیع ژئوشیمیایی به ترتیب به رنگ‌های نارنجی و قهوه‌ای نشان داده شده‌اند، این محدوده در موقعیت محدوده معدنی کانسار زرشوران و رخنمون‌های زرشوران و آهک چالداغ و هم‌چنین دگرسانی سیلیسی می‌باشد، که این موضوع تأییدی بر همبستگی منفی مس و عناصر ردیاب طلا در کانسار زرشوران و همراهی آن با رخنمون سنگ‌های مافیک ایمان‌خان می‌باشد (شکل ۷). جامعه دوم ژئوشیمیایی در مدل عیار-تعداد در محدوده عیاری ۲۱/۳۷ تا ۵۲/۴۸ ppm می‌باشد، در حالی که در مدل عیار-مساحت این محدوده از ۵۰ تا ۱۵۸/۴۸ ppm بوده که در نقشه توزیع عیار عنصر مس با رنگ آبی نشان داده شده است دارای گسترش زیادی می‌باشد. جمعیت ژئوشیمیایی سوم در واقع نشان دهنده جمعیت با

- [9] Cheng, Q., Agterberg, F.P., Ballantyne, S.B (1994) The separation of geochemical anomalies from background by fractal methods. *Journal of Geochemical Exploration*, 51:109-130.
- [10] Cheng, Q. & Agterberg, F.P (1996) Multifractal modeling and spatial statistics. *Mathematical Geology*, 28:1-16.
- [11] Cheng, Q. Ping, Q. & Kenny, F (1997) Statistical and fractal analysis of surface stream patterns in the Oak Ridges Moraine, Ontario, Canada. *International Association of Mathematica 1st Geology Meeting*, Barcelona, Spain.
- [12] Deng, J. Wang, Q. Yang, L. Wang, Y. Gong, Q. & Liu, H (2010) Delineation and explanation of geochemical anomalies using fractal models in the Heqing area, Yunnan Province, China. *Journal of Geochemical Exploration*, 105: 95-105.
- [13] Ford, A. & Blenkinsop, T.C (2008) Evaluation geological complexity and complexity gradients as control on copper mineralization, Mt Isa Inlier. *Australian Journal of Earth Science*, 55:13-23.
- [14] Gafuszka A (2007) A review of geochemical background concepts and an example using data from Poland.
- [15] Jian, B. Porwal, A. Hart, C. Ford, A. & Yu, L (2010) Mapping geochemical singularity using multifractal analysis: application to anomaly definition on stream sediments data from Funin Sheet, Yunnan, China. *Journal of Geochemical Exploration*, 45:1-11.
- [16] Mandelbrot, B (1983) *The fractal geometry*. Freeman and Company, New York. 468 pp .
- [17] Mehrabi, B. Yardley, B. & Cann, J (1999) Sediment-hosted disseminated gold mineralisation at Zarshuran, NW Iran. *Mineralium Deposita*, 34, 673-696.
- [18] Miesch, A (1981) Estimation of the geochemical threshold and its statistical significance. *Journal of Geochemical Exploration*, 16:49-76.
- [19] Nazarpour, A. Omran, N.R. Paydar, G.R. Sadeghi, B. Matroud, F. & Nejad, A.M (2015) Application of classical statistics, logratio transformation and multifractal approaches to delineate geochemical anomalies in the Zarshuran gold district, NW
- و واحد شیل زرشوران (گوژ سیاه) می‌باشند. شواهد ساختاری متنوع و دگرسانی‌های همراه با آن‌ها نشان دهنده اهمیت ساختارهای زمین‌شناسی در جدایش و تفکیک آنومالی‌های ژئوشیمیایی داشته‌اند.
- تشکر و قدردانی**
- این پژوهش از پشتیبانی مالی معاونت محترم پژوهشی دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز برخوردار بوده است.
- منابع**
- [۱] اجاقی، ب (۱۳۷۴) زمین‌شناسی کانسار طلای زرشوران، مهندسی مشاور کاوشگران، گزارش داخلی، ۱۶۵ صفحه.
- [۲] باباخانی، ع. ر.، قلمقاش، ج (۱۳۸۰) گزارش زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰:۱:۱۰۰۰۰۰ چهارگوش تخت سلیمان، انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، ۱۱۰ صفحه.
- [۳] علوی‌نائینی، م.، و عمیدی، م (۱۳۶۱) گزارش زمین‌شناسی ورقه ۱:۲۵۰۰۰۰ چهارگوش تکاب-صائین قلعه، انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، ۱۰۰ صفحه.
- [۴] قربانی، م (۱۳۷۹) ماگماتیسم و متالوژنی منطقه تکاب، پایان‌نامه دکتری، دانشگاه شهید بهشتی تهران، ۴۰۰ صفحه.
- [5] Afzal, P. Fadakar Alghalandis, Y. Khakzad, A. Moarefvand, P, Rashidnejad Omran, N (2011) Delineation of mineralization zones in porphyry Cu deposits by fractal concentration-volume modeling. *Journal of Geochemical Exploration*, Vol.(108):220-232.
- [6] Agterberg, F.P (1995) Multifractal modeling of the sizes and grades of giant and supergiant deposits. *International Geological Review*, 37:1-8.
- [7] Agterberg, F.P. Cheng, Q. & Wright, D.F (1993) Fractal modeling of mineral deposits. In: Elbrond J, Tang, X (eds) 24th APCOM symposium proceeding, Montreal, Canada, pp. 43-53.
- [8] Carranza, E.J.M (2008) *Geochemical Anomaly and Mineral Prospectivity Mapping in GIS*. Handbook of Exploration and Environmental Geochemistry, Vol.(11). Amsterdam: Elsevier.

Iran. *Chemie der Erde-Geochemistry*, 75, 117-132.

- [20] Shapiro, S.S. & Wilk, M.B (1965) An analysis of variance test for normality (complete samples). *Biomet*, 52: 591–611.
- [21] Yuan, F. Li, X.H. Bai, X.Y. Jowitt, S. Zhang, M. Jia, C. & Zhou, T (2010) Comparison of normalization methods for non-normal distributed soil geochemical data: a case study from the Tongling metallogenic district, Yangtze belt, Anhui Province, China. *Journal of Geochemical Exploration*, 45: 45-51.

Application of number-size (N-S) and concentration -area (C-A) fractal models to identify geochemical anomalies in the Zarshuran Au deposit, NW Iran

A. Nazarpour

Dept. of Geology, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran

* Ahad.nazarpour@gmail.com

Received: 2015/6/9 Accepted: 2016/2/6

Abstract

In this study identification and separation of geochemical anomalies using the number-size (N-S) and concentration-area (C-A) methods was conducted at the Zarshuran Au deposit, NW Iran. Log-log elemental plots fitted with straight lines show number-size (N-S) and concentration-area (C-A) relationships of Au, As, Sb and Cu. The thresholds obtained from the two methods are similar. Element concentrations can be divided into three segments that correlate with a particular rock type including mafic rocks, serpentine schist (within the Iman Khan Anticline), Ghaldagh limestone and Zarshuran shale (black gouge) units. Various structural features and corresponding alteration show that geologic structures play an important role in the discrimination of geochemical anomalies and element distribution in soils.

Keywords: Geochemistry, Fractal, Number-Size, Concentration-Area, Zarshuran.