

شناسایی کانی زایی طلا در منطقه مینرالی قره چر با استفاده از روش تکینگی چند عنصری

پویا اسدی هارونی^{۱*}، امید اصغری^۲

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد دانشگاه تهران

۲- دانشکده مهندسی معدن، دانشگاه تهران

*عهده دار مکاتبات: pooya.asadi@ut.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴ آذر ۱۴۰۲

تاریخ پذیرش: ۱۲ اسفند ۱۴۰۲

DOI: [10.22034/ANM.2024.20963.1617](https://doi.org/10.22034/ANM.2024.20963.1617)

این نسخه "پذیرفته شده پیش از انتشار" مقاله است که در نشریه روش های تحلیلی و عددی در مهندسی معدن، پس از طی فرایند داوری، برای چاپ، قابل پذیرش تشخیص داده شده است. این نسخه پس از اعلام پذیرش و قبل از فرایند ویراستاری به صورت آنلاین منتشر می شود. مقاله پس از طی فرایند آماده سازی و انتشار نهایی، از نسخه پذیرفته شده پیش از انتشار خارج و در شماره ای مشخص در وب سایت نشریه منتشر می شود. صفحه آرایی و ویراستاری فنی باعث ایجاد تغییرات صوری در مقاله خواهد شد.

چکیده

تکینگی ویژگی انواع فرآیند های طبیعی غیر خطی مانند فرآیندهای هیدروترمال در پوسته زمین است که باعث ایجاد ذخایر دارای غلظت های بالایی از فلزات می شود. نتیجه نهایی این فرآیندها بروز ویژگی های فرکتالی یا چند فرکتالی است که روش های متعددی برای شناسایی این ویژگی ها وجود دارد. روش نقشه توزیع تکینگی از جمله آنالیزهای چند فرکتال بوده که بر اساس شاخص تکینگی و به عنوان ابزاری برای جدایش آنومالی از زمینه یا جدایش آنومالی های محلی از ناحیه ای توسعه یافته است. در این پژوهش از روش نقشه توزیع تکینگی چند عنصری برای تعیین آنومالی های ژئوشیمیایی، ویژگی های ساختاری و تعیین نحوه ارتباط بین عناصر در منطقه مینرالی قره چر واقع در ۴۲ کیلومتری جنوب باختر شهر سقز، استان کردستان، استفاده شده است. بانک داده شامل تعداد ۱۱۰۴ نمونه لیتوژئوشیمیایی با ۸ عنصر آنالیز شده شامل **Au, As, Ag, Cu, Sn, Mo, Zn, Pb** بود که ماهیت ترکیبی و همبستگی کاذب متعاقب داده ها در سیستم بسته باعث شد تا از تحلیل مولفه های اصلی بر روی داده های تحت تبدیل لگاریتمی ایزومتریک استفاده شود. با توجه به نتایج حاصل از آن ارتباط بین عناصر **Cu** و **As** بر روی مولفه اصلی اول و مولفه اصلی دوم نشان دهنده عملکرد مستقل طلا در این منطقه است. استفاده از روش نقشه توزیع تکینگی بر روی این نتایج، مناطق امید بخش و پربتانسیلی را برای عملیات اکتشافی معرفی کرده که با توجه به تطابق این مناطق با آلتراسیون های فیلیک، اکسیدهای آهن، کانه های سولفیدی و سلول های پر عیار طلا از اعتبار بالایی برای کانه زایی برخوردارند. در نهایت با توجه به نتایج حاصل از نقشه های توزیع تکینگی می توان بیان نمود که این منطقه دارای دو تیپ متفاوت کانه زایی حرارت متوسط (مزوترمال) تا حرارت بالا در نیمه جنوبی و نوع حرارت پایین (ابی ترمال) تا مزوترمال در نیمه شمالی است. اما به توجه به حضور کانسار های معروف طلای تیپ مزوترمال (کوهزایی) کرویان و قلقله واقع در نزدیکی منطقه قره چر، میتوان عنوان نمود که احتمال حضور کانی سازی طلای تیپ کوهزایی بیشتر است، بطوری که میتوان از معیار های اکتشافی این تیپ کانسار برای اکتشافات بعدی در این منطقه استفاده نمود.

کلمات کلیدی: کانی زایی طلا، نقشه توزیع تکینگی، تبدیل لگاریتمی ایزومتریک، تحلیل مولفه های اصلی، قره چر

۱- مقدمه

اصلی توسط تبدیل لگاریتم ریشه ای مرکزی است که در مواقع لزوم تفسیر متغیرها به صورت گرافیکی باید انجام گیرد [۲۱].

۲- موارد و روش‌ها

۲-۱- تکینگی

این روش بر اساس شاخص تکینگی و به عنوان ابزاری برای جدایش آنومالی‌های محلی از ناحیه‌ای و یا جدایش آنومالی از زمینه در ساختارهای پیچیده زمین‌شناسی توسعه داده شد **است**. روش نقشه توزیع تکینگی رفتار ژئوشیمیایی عناصر را که نتیجه نهایی اثرات پیچیده فرآیندهای چندگانه زمین از جمله ماگماتیسم و فعالیت‌های تکتونیکی هستند، را بررسی می‌کند. همچنین بکارگیری آن بروی نقشه‌های ژئوشیمیایی اطلاعات ارزشمندی برای شناسایی آنومالی‌های ژئوشیمیایی وابسته به کانی‌زایی را فراهم می‌کند [۱۲، ۲۲]. همچنانکه قبلاً توضیح داده شد این روش از جمله آنالیزهای فرکتال و چند فرکتالی به منظور شناسایی ویژگی‌های تکینگی است که بر اساس یک پنجره متحرک طراحی شده و طبق فلوجارت ترسیم شده در شکل ۱ انجام می‌گردد. بدین نحو که ابتدا یک نقشه درونیایی شده از داده‌های ژئوشیمیایی تهیه و سپس با بکارگیری یک پنجره متحرک بر روی آن مقادیر میانگین غلظت محاسبه می‌شود. این روند تا زمانی که تمامی نقاط نقشه پوشش داده شود تکرار می‌گردد. در نهایت طبق رابطه ارائه شده در شکل ۱ مقادیر α محاسبه و نقشه مربوطه ترسیم می‌شود. نهایتاً در صورتی که موقعیت‌های مشخص شده بر روی نقشه نهایی در تکینگی‌های کمتر از ۲ واقع باشد در گروه غنی‌شدگی‌ها و اگر با تکینگی‌های بیشتر از ۲ هماهنگی داشته باشد در گروه تهی‌شدگی‌ها دسته‌بندی می‌شود.

۲-۲- تحلیل مولفه‌های اصلی

تحلیل مولفه‌های اصلی روشی برای یافتن ترکیبات خطی از متغیرهای اولیه همبسته است که یک دستگاه محورهای جدید را تشکیل می‌دهند که این محورهای جدید در امتداد بیشترین واریانس داده‌ها ترسیم می‌شوند. در واقع هدف این روش دستیابی به دستگاه محورهای جدیدی است که بتواند

مطالعات اخیر نشان داده که انواع مختلفی از فرآیندهای غیرمعمول زمین‌شناسی از جمله زلزله، آتشفشان‌ها، سیل، طوفان و کانی‌زایی منجر به آزاد شدن مقدار قابل توجهی انرژی یا تجمع جرم می‌شوند و معمولاً به فواصل زمانی یا مکانی کوتاه محدود هستند خصوصیت تجمع مقدار آنومال انرژی یا جرم را تکینگی می‌نامند و فرآیندی که منجر به چنین خصوصیتی می‌شود را فرآیند تکین می‌گویند [۲، ۱]. تکینگی یک ویژگی عمومی از فرآیندهای طبیعی غیرخطی است که اغلب نتایج نهایی فرکتالی یا چند فرکتالی را باعث می‌شود [۸-۳]. به عنوان مثال فرآیندهای هیدروترمالی در پوسته زمین می‌تواند منجر به تشکیل ذخایر معدنی با غلظت بالایی از فلزات با خواص فرکتالی یا چند فرکتالی شوند [۹، ۱۰].

برای شناسایی این ویژگی‌ها روش‌های متعددی توسعه داده شده است که به آنالیزهای فرکتال و چند فرکتالی معروف هستند. روش نقشه توزیع تکینگی از جمله این روش‌ها است که بر اساس شاخص تکینگی طراحی شده است. بکارگیری این روش بدلیل استفاده از یک پنجره متحرک و انطباق با شکل هندسی منطقه باعث می‌شود تا از تأثیرات لبه در نتایج حاصل از آن کاسته شود. با توجه به ویژگی‌های ذکر شده از این روش استفاده همزمان آن با یک روش چند متغیره علاوه بر تبیین آنومالی‌های چند عنصری، ارتباط بین عناصر را نیز بهتر مشخص می‌کند [۱۳-۹، ۲].

تحلیل مولفه‌های اصلی (Principal component analysis) یکی از پر کاربردترین روش‌های آنالیز چند متغیره به منظور کاهش بعد و استخراج ویژگی است [۲، ۱۴-۱۸]. **استفاده** از این روش برای داده‌های عیارسنجی ژئوشیمیایی که دارای ماهیت ترکیبی هستند بدلیل وجود قید مجموع ثابت و همبستگی متعاقب داده‌ها مسائلی را به همراه خواهد داشت. محققان مختلفی از جمله پیرسن در سال ۱۸۹۷ [۱۹]، رولینسون در سال ۱۹۹۵ [۲۰] و آگازکیو در سال ۲۰۰۳ [۲۱] در مورد سیستم عددی با ماهیت ترکیبی کار کرده‌اند. آگازکیو در سال ۲۰۰۳ [۲۱] روش تبدیل لگاریتمی ایزومتریک (Isometric Logratio Transformation) یا به اختصار ilr را پیشنهاد کرد که نتایج رضایت بخشی را نتیجه داد. تنها مساله‌ای که در ارتباط با آن مطرح است، برگرداندن داده‌های تبدیل یافته به فضای

تعداد ۱۱۰۴ نمونه لیتوژئوشیمیایی جهت آنالیز عناصر Au, As, Ag, Cu, Sb, Sn, Bi, Mo, Zn, Pb با روش جذب اتمی به آزمایشگاه ارسال شد. شبکه نمونه برداری به صورت سلول های مربعی با ابعاد ۵۰ متر (۵۱۵ سلول) و ۱۰۰ متر (۵۸۹ سلول) طراحی و نمونه های معرف هر سلول به روش لپیری برداشت گردید. تعداد ۹ نمونه مربوط به سلول های ۶، ۱۱، ۱۴۳، ۲۳۶، ۲۶۰، ۴۲۹، ۴۹۶، ۷۳۰ و ۹۹۷ در حین آماده سازی مفقود و از آنالیزها کنار گذاشته شد. در نهایت نیز آنالیز بر روی ۱۰۹۵ نمونه صورت گرفت. جهت بررسی دقت آنالیز تعداد ۳۰ نمونه به عنوان نمونه تکراری برای آنالیز و تعداد ۵ نمونه جهت کنترل صحرائی آنومالی ژئوشیمیایی برداشت شد.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- آنالیز تک عنصری

باکس پلات همه عناصر آنالیز شده در شکل ۴ نشان داده شده است. مقادیر خارج از ردیف در این شکل به وضوح دیده می شود، که بیشترین اختلاف و دوری از بدنه اصلی مربوط به عناصری چون طلا، مس و آرسنیک است. به همین منظور ابتدا، مقادیر خارج از ردیف به روش دورفل مشخص و جایگزین شدند. همچنین مقادیر سنسورد، با مقدار ۳/۴ حد تشخیص دستگاه اعلام شده توسط آزمایشگاه جایگزین شدند. بدین ترتیب، به ازای عناصر Au, Cu, Pb, Zn, Ag, Sn, Mo و As به ترتیب مقادیر ۴۷۰ ppb، ۱۴۴ ppm، ۶۶ ppm، ۲۴۴ ppm، ۰٫۳۷ ppm، ۱۹ ppm، ۷ ppm و ۳۷/۷ ppm به عنوان حد تشخیص و جایگزینی مقادیر خارج از ردیف مشخص شدند. هیستوگرام و نقشه توزیع عیار متغیرهای ذکر شده به ترتیب در شکل های ۵ و ۶ ارائه شده است. همچنین پارامترهای آماری مربوط به این متغیرها در جدول ۱ قابل مشاهده است. لازم به ذکر است که رسم کلیه نقشه ها در این تحقیق با استفاده از روش عکس مجذور فاصله شده است. طلا بیشترین مقدار را در سلول های شماره ۲۷۱، ۳۷۹، ۶۳۸، ۶۰۷، ۶۲۴ و ۱۰۲۴ دارد. که مقدار طلا در این سلول ها بیش از ۴۷۰ ppb گزارش شده و اینها با علامتی مجزا بر روی نقشه های ترسیم شده مشخص شده اند. بیشترین مقادیر مس مربوط به سلول های ۶۲۵، ۹۶۹، ۹۱۸ و ۱۰۲۱ بوده که در

با تعداد کمتر بعد میزان بیشتری از تغییرپذیری را توجیه کند [۲، ۱۸-۱۴]. با توجه به اینکه این روش برای داده هایی در بازه با فضای باز طراحی شده و استفاده از آن بر روی داده های ترکیبی بدلیل قید مجموع ثابت و همبستگی متعاقب داده ها مشکلاتی را به همراه خواهد داشت. لذا تحقیقات متعددی برای یافتن یک تبدیل مناسب صورت پذیرفت [۲۱-۱۹] و پس از معرفی روش هایی اعم از تبدیل لگاریتم ریشه ای افزایشی و مرکزی [۲۳]، در نهایت به روش تبدیل لگاریتم ایزومتریک [۲۱] دست یافتند. تبدیل لگاریتم ریشه ای افزایشی و مرکزی به ترتیب هر کدام بدلیل وابستگی به عنصر تقسیم شونده و ماتریس خروجی منفرد برای بسیاری از کارهای چند متغیره مناسب نبوده اند. اما در تبدیل لگاریتم ریشه ای ایزومتریک این مسائل برطرف شده و تنها در صورت لزوم تفسیر داده ها به صورت گرافیکی باید توسط تبدیل لگاریتم ریشه ای میان مرکز به فضای اصلی توسعه یابند [۲۵-۲۴، ۲۱].

۳-۲- محدوده مورد مطالعه و داده ها

منطقه مورد مطالعه در جنوب غربی شهرستان سقز از استان کردستان واقع در غرب ایران، بخشی از پهنه زمین شناسی-ساختاری سنندج-سیرجان است. فرآیند دگرگونی و ماگماتیسیم آذرین به ویژه تزریق توده های آذرین گرانیتی از ویژگی های این پهنه است. این محدوده بر اساس مطالعات اکتشافات ژئوشیمیایی ناحیه ای در برکه ۱:۱۰۰۰۰۰ سقز و به همراه محدوده های قبغلوچه، حمزه قرنین، کرویان و قفله تعیین گردیده است. در این منطقه سنگ های دگرگونی از منشا آذرین اعم از گرانیت-گنایس های میلیونیتی، گرانیت های بیوتیت دار، شیست و گدازه های اسیدی دگرگون شده در حد ریولیت تا ریوداسیت وجود دارند. در بین واحد های سنگی ذکر شده گرانیت-گنایس های میلیونیتی از بیشترین وسعت برخوردارند. دگرسانی غالب در این منطقه از نوع فیلیک و اکسید های آهن می باشد که بخش وسیعی از محدوده را شامل می گردد. حضور کانه های فلزی علی رغم بزرگی و گسترش واحد های گنایس و گرانیت به کانه های پراکنده و کم پیریت و کالکوپیریت محدود می شود که می تواند به دلیل تهی بودن ماگمای گرانیتی اولیه از آغستگی و آلودگی به ماده معدنی فلزی باشد.

حدود ۰/۳ درصد است و این نمونه‌ها نزدیک بهم برداشت شده‌اند.

۲-۳- آنالیز چندعنصری

واضح است که زیر مجموعه‌های متفاوت در داده‌های سنگ منطقه معدنی قره چر که بر اساس لیتولوژی‌های متفاوت تعریف شده، ضرائب همبستگی متفاوتی را نشان بدهد. داده‌های لیتوژئوشیمیایی اغلب به شدت ناهمگن و تغییر پذیری زیادی دارند. معمولاً آن‌ها شامل ترکیبی از داده‌هایی با جمعیت‌های متفاوت‌اند که نماینده فرآیندهای ژئوشیمیایی و زمین‌شناسی مختلفی است. در این منطقه ۴ نوع لیتولوژی متفاوت وجود دارد که پارامترهای آماری و ضرائب همبستگی بین عناصر در هر نوع لیتولوژی به صورت جداگانه محاسبه و به ترتیب در جدول ۲ و شکل ۷ نشان داده شده است. واحدهای سنگی اصلی و مهم این منطقه همانطوری که در نقشه زمین‌شناسی منطقه (شکل ۳) نشان داده شده است شامل گرانیت-گنایس‌های دگرگون شده، گرانیت‌های بیوتیت‌دار درشت دانه و شیست‌ها است که مهمترین واحد آن گرانیت-گنایس‌های دگرگون شده می‌باشد که با تفاوت در نوع کانی‌های آن‌ها به دو دسته تقسیم شده‌اند (Gn1 و Gn2).

۳-۳- تحلیل مولفه‌های اصلی

با توجه به جدول ۳ بارهای حاصل از روش تحلیل مولفه‌های اصلی بر روی داده‌های تحت تبدیل ilr در مولفه اول برای عناصر آرسنیک و مس و در مولفه دوم برای عنصر طلا بیشترین مقادیر را به خود اختصاص داده‌اند. در PC1 دو عنصر مس و آرسنیک بیشترین بار و در PC2 عنصر طلا با اختلاف بسیار زیادی خود را از دیگر عناصر جدا کرده است، این مسأله می‌تواند به ارتباط اندک طلا با سایر عناصر در این منطقه اشاره‌ای داشته باشد. اما بارهای حاصل از تحلیل مولفه‌های اصلی بر روی داده‌های لگاریتمی در مولفه اول برای عناصر مس، قلع و طلا و در مولفه دوم برای عناصر مس، آرسنیک و مولیبدن بیشترین مقدار را دارد که با توجه به توزیع بارها تغییرات معنی‌داری مشاهده نمی‌شود و روش اول تفکیک پذیری بهتری بین عناصر انجام داده است. شکل ۶ نشان‌دهنده نمودارهای دوتایی دو مولفه اصلی نخستین با استفاده از تحلیل مولفه‌های اصلی مقاوم برای داده‌های لگاریتمی می‌باشد که نشان دهنده سیستم بسته داده‌ها و

عدم کفایت تبدیل لگاریتمی است، زیرا می‌توان دید که تقریباً همه عناصر تغییرات یکسانی دارند و درصد هیچ کدام از عناصر تفاوتی با سایر عناصر ندارد، بدین دلیل که وجود قید مجموع ثابت در داده‌های ترکیبی و همبستگی کاذب متعاقب داده‌ها در سیستم بسته، باعث می‌شود که اعمال روش‌های آنالیز استاندارد بر روی این داده‌ها نتایج نادرستی را به همراه داشته باشد. نمودار دوتایی مربوط به داده‌های تحت تبدیل ilr با تحلیل مولفه‌های اصلی مقاوم در شکل ۸ بیانگر همبستگی مس و آرسنیک بر روی مولفه اصلی اول و عملکرد مستقل طلا بر روی مولفه اصلی دوم است، که می‌تواند نشان دهنده کانی‌سازی اقتصادی طلا در این منطقه است.

۴-۳- بررسی نقشه توزیع تکینگی

توزیع تکینگی برای عناصر مهم با استفاده از نرم افزار متلب تهیه و در شکل ۹ ترسیم و نقشه‌های بدست آمده با استفاده از روش Quantile در ۵ کلاس طبقه‌بندی شد. مکان‌هایی با $\alpha > 2$ غنی‌شدگی عناصر را مشخص می‌کند که بر روی نقشه‌ها با رنگ قرمز نشان داده شده است. همچنان که می‌دانیم از ویژگی‌های این روش تقویت آنومالی‌هاست و الگوهای بدست آمده برای تعیین تپه‌شدگی و غنی‌شدگی موجود در منطقه مفید می‌باشد.

همانطوری که در نقشه توزیع تکینگی طلا در شکل ۹ الف نشان داده شده است وسعت آنومالی‌های واقع در بخش مرکزی منطقه مورد مطالعه و پس از آن در بخش شرقی وسیع تر از دیگر آنومالی‌ها هستند. لازم به ذکر است که آنومالی‌های معرفی شده تفاوت جایگاه و موقعیت دارند، بنابراین از روند لیتولوژی تبعیت نکرده و این تفاوت در ارتباط با ژنز کانی‌سازی یا دیگر فرآیندهای ژئوشیمیایی است. روند ساختاری غالب مشاهده شده در نحوه پراکندگی آنومالی‌های طلا در جهت شمالی - جنوبی است که با نحوه پراکندگی آنومالی‌های آرسنیک (شکل ۹ ب) متفاوت می‌باشد. در این زون‌ها انطباق زیادی با کانه‌های سولفیدی از جمله پیریت و کالکوپیریت به چشم نمی‌خورد، اما آنومالی‌های بخش جنوبی و مرکزی منطقه همجوار گسل‌ها، منطبق با آلتراسیون‌های فیلیک و اکسید آهن و سلول‌های پر عیار طلا بجز سلول شماره ۵ که میزان طلا در آن ۵۰۰ ppb گزارش شده است، می‌باشد. نه در نقشه توزیع تکینگی طلا و نه در نقشه تکینگی حاصل از مولفه اصلی دوم که نشان دهنده طلا و عملکرد

ردیاب‌ها برای اکتشاف کانسارهای طلای تیب هیدروترمال با درجه حرارت پایین محسوب شود، زیرا هاله تقریباً وسیع و بزرگی دارد و دور از موتور حرارتی تجمع می‌یابد. با دقت در شکل ۹ ح که توزیع تکینگی این عنصر را نشان می‌دهد می‌توان دریافت که غنی شدگی‌های این عنصر بر روی لیتولوژی‌های متفاوتی قرار گرفته‌اند اما تمرکز آن‌ها بیشتر در بخش شمالی منطقه مینرالی قره چر است. روند ساختاری غالب آن‌ها مشابه با روند ساختاری عناصری چون مس و طلا بوده و مقادیر بالای این عنصر در نیمه شمالی بر روی واحد گرانیت-گنایس میلونیتی نوع دوم (Gn2) و در نیمه جنوبی این مقادیر در حد زمینه و گاهاً تهی شدگی است. در این بین سلول‌های طلا دار اولویت ۲ و ۴ انطباق خوبی با غنی شدگی‌های آنتیموان نشان داده‌اند، بر خلاف سلول‌های طلا دار بخش جنوبی منطقه مورد مطالعه که در بخش‌های تهی شده آنتیموان واقع‌اند. در حقیقت از انطباق این شکل با نقشه توزیع تکینگی طلا می‌توان دریافت که تنها آنومالی‌های نیمه شمالی آنتیموان با سلول‌های پر عیار طلا هماهنگی دارند و بنابر خصوصیات این عنصر می‌توان نتیجه گرفت که آنومالی‌های نیمه شمالی از تیب کانی‌زایی هیدروترمال دما پایین یا همان اپی ترمال (دور از موتور حرارتی) بوده‌اند.

شکل ۹ ه نقشه توزیع تکینگی عنصر قلع را نشان می‌دهد. قلع از نظر ماهیت ژئوشیمیایی با آنتیموان متفاوت و این عنصر بیشتر نزدیک به موتور حرارتی متمرکز شده، در صورتی که کمپلکس‌های آنتیموان در فواصل دورتری شکسته می‌شوند. در نتیجه با استفاده از این دو عنصر می‌توان براحتی مرز حرارتی برای آنومالی‌های موجود در این منطقه را ترسیم کرد. نحوه تغییرات آنومالی‌ها به گونه ای است که از روند لیتولوژی تبعیت نمی‌کنند و از تطابق نقشه توزیع تکینگی قلع و آنتیموان می‌توان دریافت که در مکان‌های غنی شده قلع اکثراً میزان آنتیموان در حد زمینه بوده است. این سطوح غنی شده با سلول‌های طلا دار اولویت ۵ و ۶ یعنی در واقع آنومالی‌های جنوبی منطقه مورد مطالعه هماهنگی دارند. بنابراین بر اساس نتایج حاصل از سطوح غنی شده این دو عنصر و ماهیت ژئوشیمیایی آن‌ها می‌توان بدین نتیجه رسید که حداقل دو تیب کانی‌زایی متفاوت حرارتی طلا در منطقه مینرالی قره چر وجود دارد که هر یک مشخصات منحصر به فرد خود را دارند. همان گونه که قبلاً

مستقل آن در منطقه قره چر است، این سلول جزء غنی شدگی‌ها معرفی نشده است. از خصوصیات این سلول قرار گیری بر روی واحد سنگی واریزه، عدم تطابق با آلتراسیون‌های فیلیک و اکسید آهن و کانی‌های سولفیدی شاخص کانی‌زایی است، بنابراین وجود مقدار بالای طلا در این سلول را می‌توان با عواملی از قبیل خطای آزمایشگاه، تمرکز سطحی محلول‌های گرمایی و مینرالیزه و یا سایر فرآیندهای ژئوشیمیایی در ارتباط دانست.

شکل ۹ ج مربوط به توزیع تکینگی مقادیر آلفا مربوط به عنصر مس در محدوده معدنی قره چر است که با توجه به نحوه پراکندگی سطوح غنی شده این عنصر می‌توان دریافت که به یک لیتولوژی خاص در منطقه مورد مطالعه محدود نمی‌شود. بر اساس مقادیر توزیع شده آلفا و غنی شدگی‌های نشان داده شده بر روی شکل ۹ می‌توان بیان نمود که آنومالی‌های مس و آرسنیک از نظر موقعیت با هم تطابق دارند با این تفاوت که از لحاظ وسعت آنومالی‌های مس محدوده کوچکتری را اشغال می‌کنند و این مساله از تحرک بیشتر آرسنیک نسبت به مس ناشی می‌شود. از تطابق غنی شدگی‌های مس و سلول‌های طلا دار واقع در منطقه به این موضوع پی خواهیم برد که به جز سلول طلا دار اولویت ۳، بقیه سلول‌ها در قسمت‌های غنی شده مس واقع نشده‌اند. شکل ۹ د نقشه توزیع تکینگی عنصر مولیبدن را نشان می‌دهد. بر خلاف نقشه توزیع تکینگی عنصر مس سطوح غنی شده آن دارای وسعت بیشتری بوده که از تحرک بیشتر مولیبدن نسبت به مس ناشی می‌شود. آنومالی‌های مولیبدن و مس با یکدیگر تطابق موقعیت نداشته، گویی که هر جا مس حضور داشته مولیبدن شسته شده و به عمق زمین فرو رفته است. روند ساختاری غالب غنی شدگی‌های این عنصر به جهت خاصی محدود نمی‌شود، به طوری که در بخش‌های جنوبی منطقه روند شرقی-غربی و در بخش‌های شمالی منطقه روند شمالی-جنوبی را به خود اختصاص داده‌اند. در بخش مرکزی و جنوبی با دو سلول پر عیار طلا اولویت ۴ و ۶، آلتراسیون‌های فیلیک، اکسید آهن و کانه‌های سولفیدی هماهنگی دارد که از نظر تطابق با نقشه زمینشناسی و واحد‌های لیتولوژی بر روی واحد گرانیت-گنایس میلونیتی واقع شده است.

آنتیموان جز آن دسته از عناصری است که از بیشترین قدرت تحرک برخوردار است. این عنصر می‌تواند از بهترین

۴- نتیجه‌گیری

استفاده از روش نقشه توزیع تکینگی بر روی این محدوده، مناطق امید بخش و پریپتانسیلی را برای عملیات اکتشافی بعدی معرفی نمود که با توجه به تطابق نتایج با آلتراسیون‌های فیلیک، اکسیدهای آهن، کانه‌های سولفیدی و سلول‌های پر عیار طلا میتوانند از اعتبار بالایی برای کانه‌زایی برخوردار باشند. با توجه به این نقشه‌ها، آنومالی‌های عناصر مس و آرسنیک بیشتر در بخش جنوبی منطقه مورد بررسی نسبت به سایر عناصر انطباق بهتری با آنومالی‌های طلا می‌دارند، در حالی که در بخش شمالی منطقه آنومالی‌های آنتیموان بیشتر با آنومالی‌های طلا تطابق دارند. با توجه به نتایج حاصل از این تحقیق و صرفاً با در نظر گرفتن تطابق آنومالی‌های ژئوشیمیایی عناصر خاص با طلا می‌توان بیان نمود که این منطقه دارای دو تیپ متفاوت کانه‌زایی هیدروترمال اعم از نوع حرارت متوسط (مزوترمال) تا حرارت بالا در نیمه جنوبی و نوع حرارت پایین (اپی ترمال) تا حرارت متوسط (مزوترمال) در نیمه شمالی است. اما با در نظر گرفتن تیپ کانی سازی مزوترمال (کوهزایی) در کانسارهای معروف کرویان و قلقله که در نزدیکی منطقه قره چر واقع شده اند میتوان نتیجه‌گیری نمود که کانی سازی تیپ درجه حرارت متوسط (مزوترمال یا همان تیپ کوهزایی) در این منطقه محتمل تر بنظر می‌رسد. لذا با در نظر گرفتن معیارهای اکتشافی طلای تیپ کوهزایی که کانی سازی طلا همراه با عناصر آرسنیک و آنتیموان و همچنین اکسیدهای آهن بصورت لنزی در مناطق شتر زونها و همراه با سنگ میزبان دگرگونی نظیر گناس قرار دارند، میتوان نوع اکتشافات بعدی در این منطقه را مشخص نمود.

۵- مراجع

- [1] Cheng, Q., Mapping singularities with stream sediment geochemical data for prediction of undiscovered mineral deposits in Gejiu, Yunnan Province, China. Ore Geology Reviews, 2007. 32(1-2): p. 314-324.
- [2] Cheng, Q., Multifractality and spatial statistics. Computers & Geosciences, 1999. 25(9): p. 949-961.
- [3] Agterberg, F., Q. Cheng, and G. Bonham-Carter, Application of a three-parameter version of the model of de Wijs in regional geochemistry. GIS and Spatial Analysis, edited by: Cheng, Q. and Bonham-Carter, GF, 2005: p. 291-296.
- [4] Cheng, Q., Multifractal imaging filtering and decomposition methods in space, Fourier frequency, and

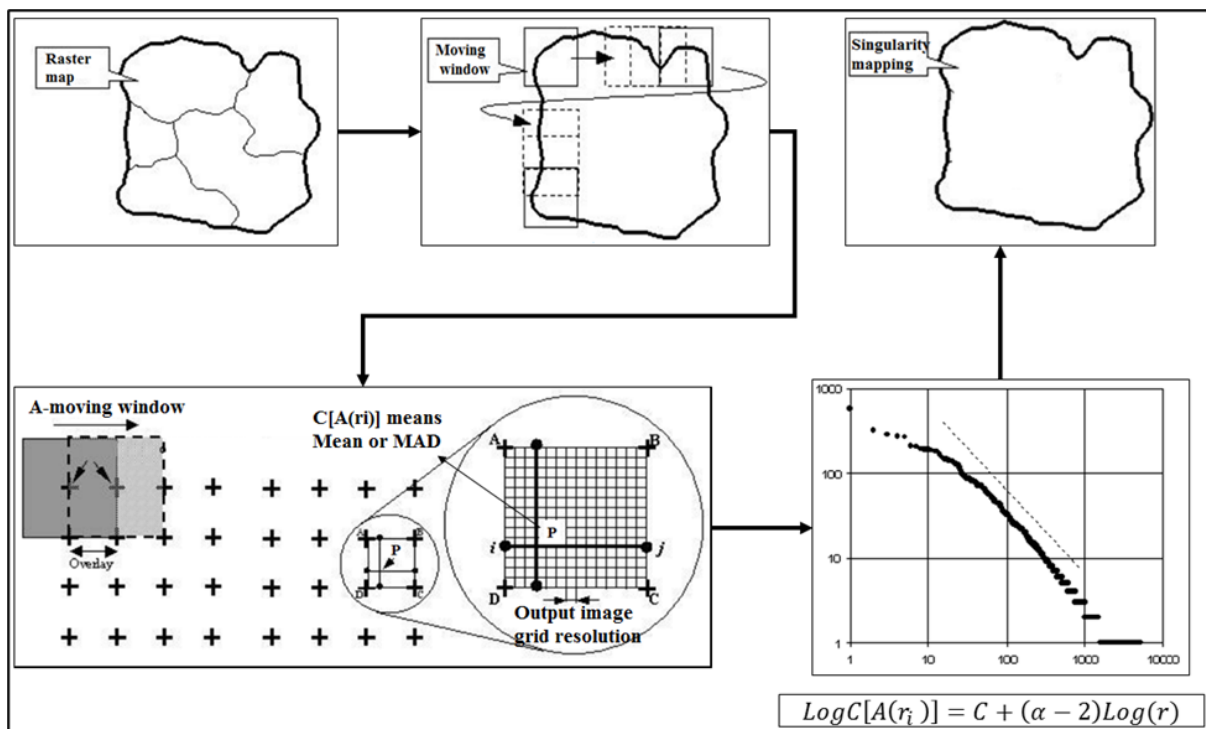
ذکر شد قلع نیز مانند آنتیموان می‌تواند نقش ترمومتر کانی‌زایی احتمالی طلا را ایفا کند که بررسی غنی‌شدگی‌های این عنصر نشان می‌دهد که سلول‌هایی که حرارت بالایی را هنگام تشکیل متحمل شده‌اند در نیمه جنوبی منطقه مورد مطالعه واقع و ژنز احتمالی آن‌ها حرارت بالا و یا حرارت متوسط (مزو ترمال) است در حالی که ژنز سلول‌های طلا دار اولویت ۱ تا ۴ از نوع اپی ترمال تا مزوترمال میتواند باشد.

شکل ۱۰ توزیع مقادیر آلفا حاصل از ارتباط بین عناصر Cu و As که بوسیله روش پنجره پایه تخمین زده شده است را به تصویر کشیده است. نتایج نشان می‌دهد که نقاط هدف ترسیم شده در مولفه اول با همه سلول‌های پر عیار طلا بجز سلول‌های اولویت ۵ و ۶ هماهنگی داشته و بر روی واحد‌های لیتولوژی متفاوتی واقع شده اند، بنابراین از روند لیتولوژی تبعیت نمی‌کند و در همه بخش‌ها بجز بخش شرقی منطقه مورد مطالعه با آلتراسیون‌های فیلیک و اکسیدهای آهن و تراکم کانه‌های سولفیدی مطابقت دارد. مناطق معرفی شده عمدتاً همجوار گسل‌ها و شکستگی‌های منطقه هستند گویی که آنها همچون معبری برای عبور محلول‌های گرمایی مینرالیزه بوده‌اند.

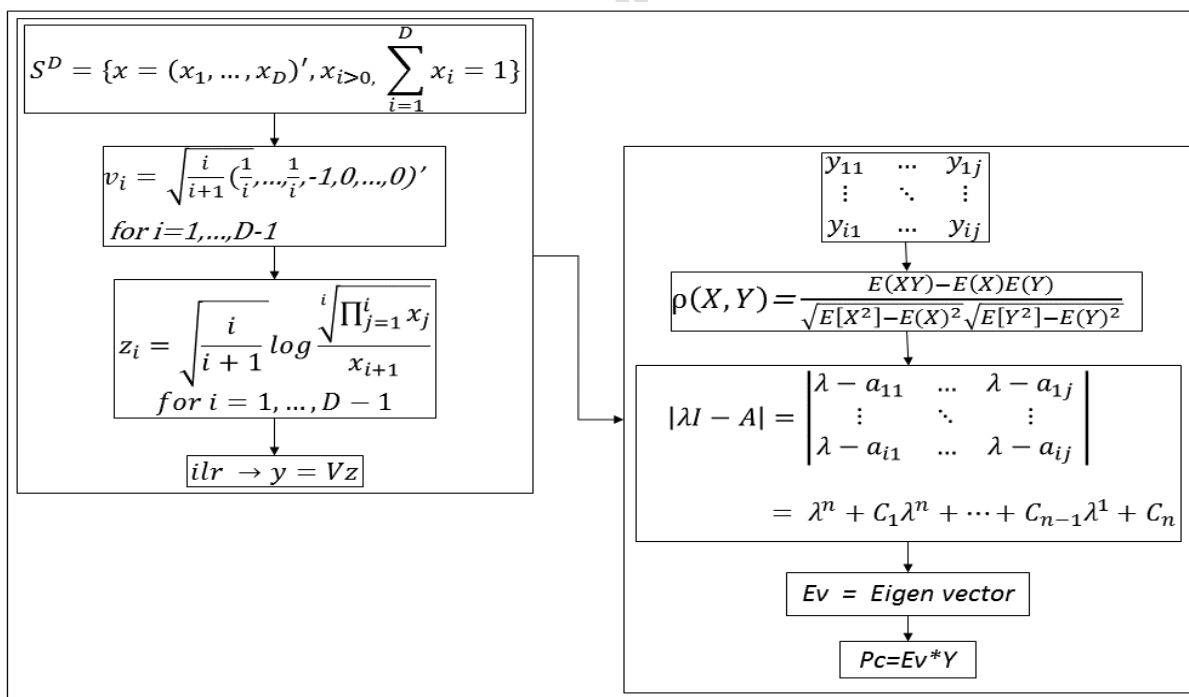
با توجه به مطالعات لیتوژئوشیمیایی صورت گرفته در این منطقه دو عنصر آرسنیک و مس نسبت به سایر عناصر همبستگی بهتری با طلا از خود نشان داده‌اند، با توجه به اینکه این عناصر تقریباً در حرارت‌های نسبتاً بالا و یا متوسط و نزدیک به منبع حرارتی تشکیل می‌شوند. این همبستگی تاییدی بر مرتبط بودن کانی‌زایی با توده‌های نفوذی حد واسط تا اسیدی بوده که آپوفیزها و رخنمون‌های آن در اغلب مناطق اکتشافی طلا دار کردستان به چشم می‌خورد.

شکل ۱۰ ب و د توزیع مقادیر آلفا برای مولفه دوم حاصل از تبدیل PCA-ilr که بیانگر عملکرد مستقل طلا در این منطقه است را نشان می‌دهد. منطقه معرفی شده علاوه بر سلول‌های پر عیار طلا چند منطقه جدید را نیز نشان می‌دهند که آنها در بخش‌های شرقی و جنوب غربی منطقه مورد مطالعه واقع اند. این مناطق از نظر وسعت بسیار وسیع نبوده و همجوار گسل‌های منطقه و کانه‌های سولفیدی شاخص کانی‌زایی می‌باشند. با توجه به این شواهد و تطابق با آلتراسیون‌ها می‌توان نتیجه گرفت این مناطق از اعتبار بالایی برای کانی‌زایی برخوردارند.

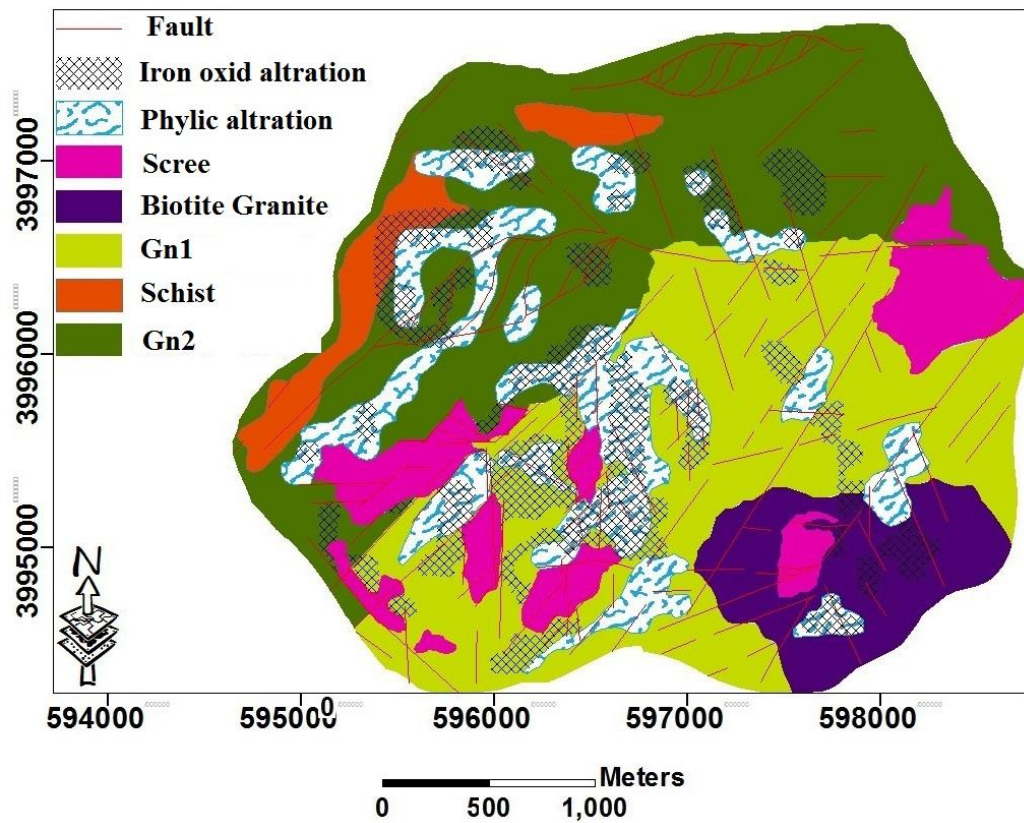
- geochemical data, a case study from Gangdese, Tibet, western China. *Journal of Geochemical Exploration*, 2009. 101(3): p. 225-235.
- [16] Carranza, E.J.M., Usefulness of stream order to detect stream sediment geochemical anomalies. *Geochemistry: Exploration, Environment, Analysis*, 2004. 4(4): p. 341-352.
- [17] Carranza, E.J.M., Geochemical anomaly and mineral prospectivity mapping in GIS. 2008: Elsevier.
- [18] Carranza, E.J.M. and M. Hale, A catchment basin approach to the analysis of reconnaissance geochemical-geological data from Albay Province, Philippines. *Journal of Geochemical Exploration*, 1997. 60(2): p. 157-171.
- [19] Ghezelbash, R., A. Maghsoudi, and M. Daviran, Prospectivity modeling of porphyry copper deposits: recognition of efficient mono-and multi-element geochemical signatures in the Varzaghan district, NW Iran. *Acta Geochimica*, 2019. 38: p. 131-144.
- [20] Muller, J., et al., The use of principle component analyses in characterising trace and major elemental distribution in a 55 kyr peat deposit in tropical Australia: Implications to paleoclimate. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 2008. 72(2): p. 449-463.
- [21] Pearson, K., Mathematical contributions to the theory of evolution. —on a form of spurious correlation which may arise when indices are used in the measurement of organs. *Proceedings of the royal society of london*, 1897. 60(359-367): p. 489-498.
- [22] Rollinson, H.R., Using geochemical data: evaluation, presentation, interpretation. 2014: Routledge.
- [23] Egozcue, J.J., et al., Isometric logratio transformations for compositional data analysis. *Mathematical geology*, 2003. 35(3): p. 279-300.
- [24] Chen, G. and Q. Cheng, Singularity analysis based on wavelet transform of fractal measures for identifying geochemical anomaly in mineral exploration. *Computers & Geosciences*, 2016. 87: p. 56-66.
- [25] Aitchison, J., The statistical analysis of compositional data. *Journal of the Royal Statistical Society: Series B (Methodological)*, 1982. 44(2): p. 139-160.
- eigen domains. *Nonlinear Processes in Geophysics*, 2007. 14(3): p. 293-303.
- [Δ] Qiuming, C., Singular mineralization processes and mineral resources quantitative prediction: new theories and methods. *Earth Science Frontiers*, 2007. 14(5): p. 42.
- [6] Afzal, Peyman, et al. "Delineation of gold mineralized zones using concentration–volume fractal model in Qolqoleh gold deposit, NW Iran." *Ore Geology Reviews* 55 (2013): 125-133.
- [7] Almasi, Alireza, et al. "Prospecting of gold mineralization in Saqez area (NW Iran) using geochemical, geophysical and geological studies based on multifractal modelling and principal component analysis." *Arabian Journal of Geosciences* 8 (2015): 5935-5947.
- [8] Afzal, Peyman, Mohammad Abdideh, and Lili Daneshvar Saein. "Separation of productivity index zones using fractal models to identify promising areas of fractured reservoir rocks." *Journal of Petroleum Exploration and Production Technology* (2023): 1-10.
- [9] Agterberg, F., Multifractal modeling of the sizes and grades of giant and supergiant deposits. *International Geology Review*, 1995. 37 :(\)p. 1-8.
- [10] Mandelbrot, B.B., Multifractal measures, especially for the geophysicist. *Fractals in geophysics*, 1989: p. 5-42.
- [11] Afzal, P., A. Adib, and N. Ebadati, Delineation of seismic zonation using fractal modeling in West Yazd province, Central Iran. *Journal of Seismology*, 2018. 22: p. 1377-1393.
- [12] Afzal, P., et al., Correlation between rock types and Copper mineralization using fractal modeling in Kushk-e-Bahram deposit, Central Iran. *Geopersia*, 2018. 8(1): p. 131-141.
- [13] Xiao, F., et al., A spatially weighted singularity mapping method applied to identify epithermal Ag and Pb-Zn polymetallic mineralization associated geochemical anomaly in Northwest Zhejiang, China. *Journal of Geochemical Exploration*, 2018. 189: p. 122-137.
- [14] Xiao, F., et al., Singularity mapping and spatially weighted principal component analysis to identify geochemical anomalies associated with Ag and Pb-Zn polymetallic mineralization in Northwest Zhejiang, China. *Journal of Geochemical Exploration*, 2012. 122: p. 90-100.
- [15] Zuo, R., et al., Application of singularity mapping technique to identify local anomalies using stream sediment



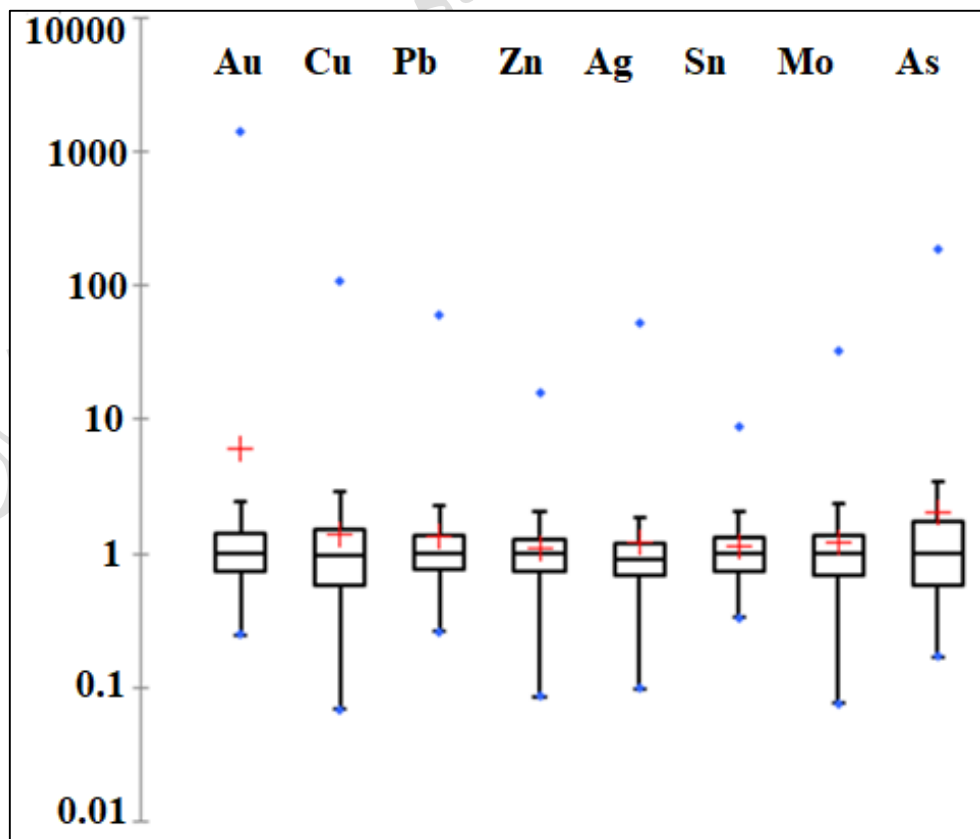
شکل ۱: فلوچارت روش ایجاد نقشه تکینگی با بکارگیری پنجره متحرک



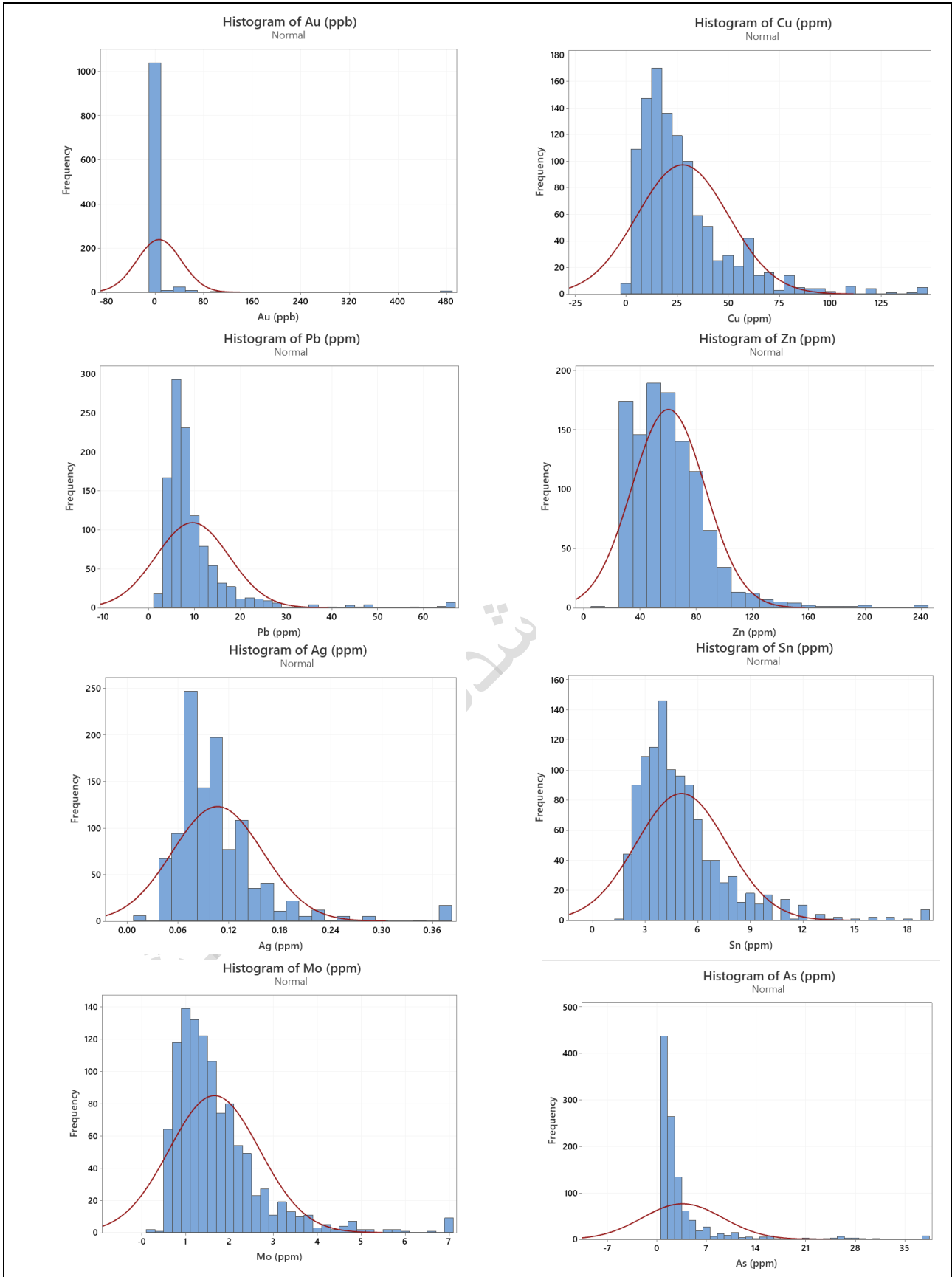
شکل ۲: روابط تبدیل لگاریتمی ایزومتریک و تحلیل مولفه اصلی بکار گرفته شده در این مطالعه



شکل ۳: نقشه زمین شناسی محدوده قره چر در مقیاس ۱:۵۰۰۰؛



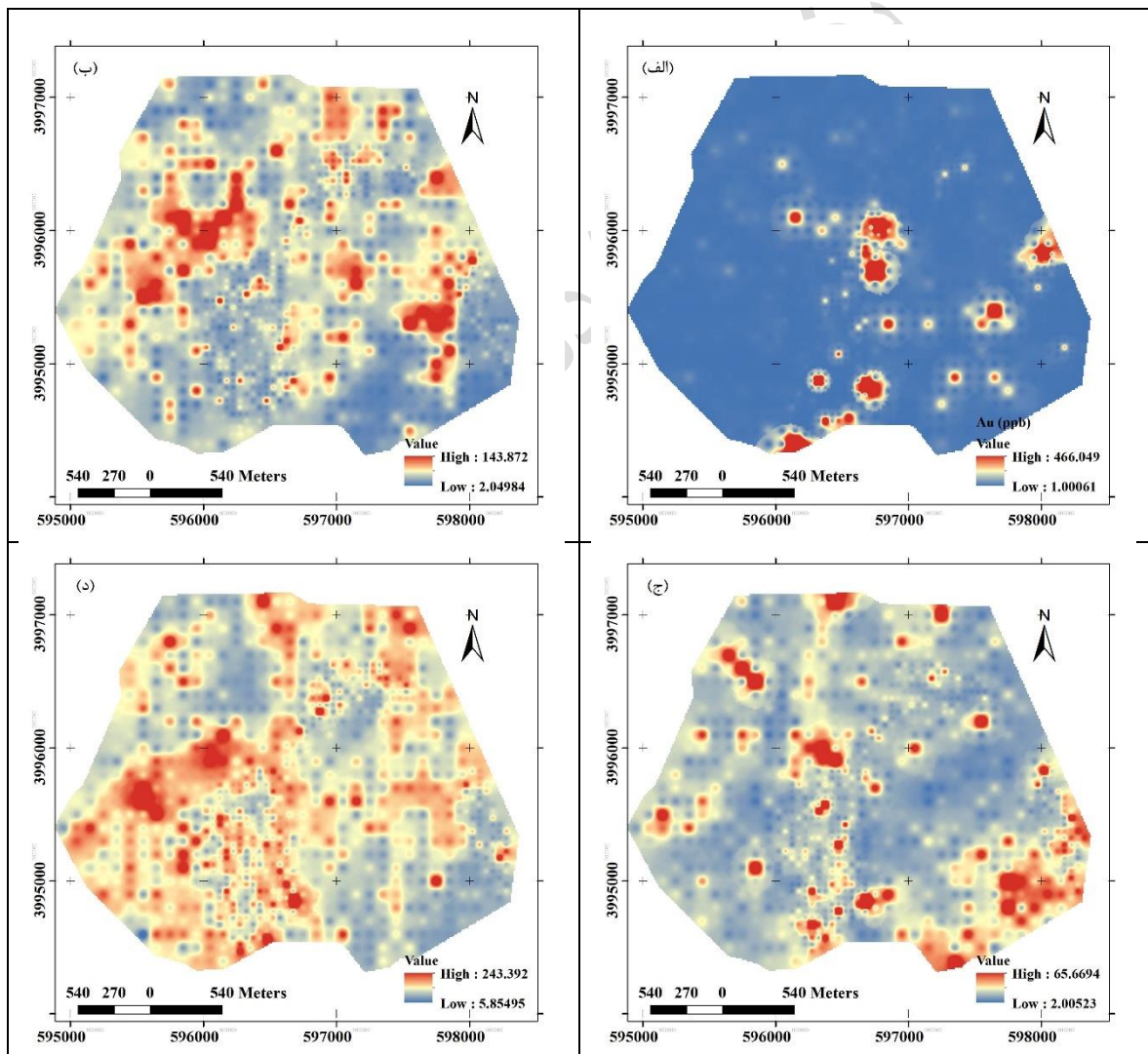
شکل ۴: باکس پلات عناصر آنالیز شده؛

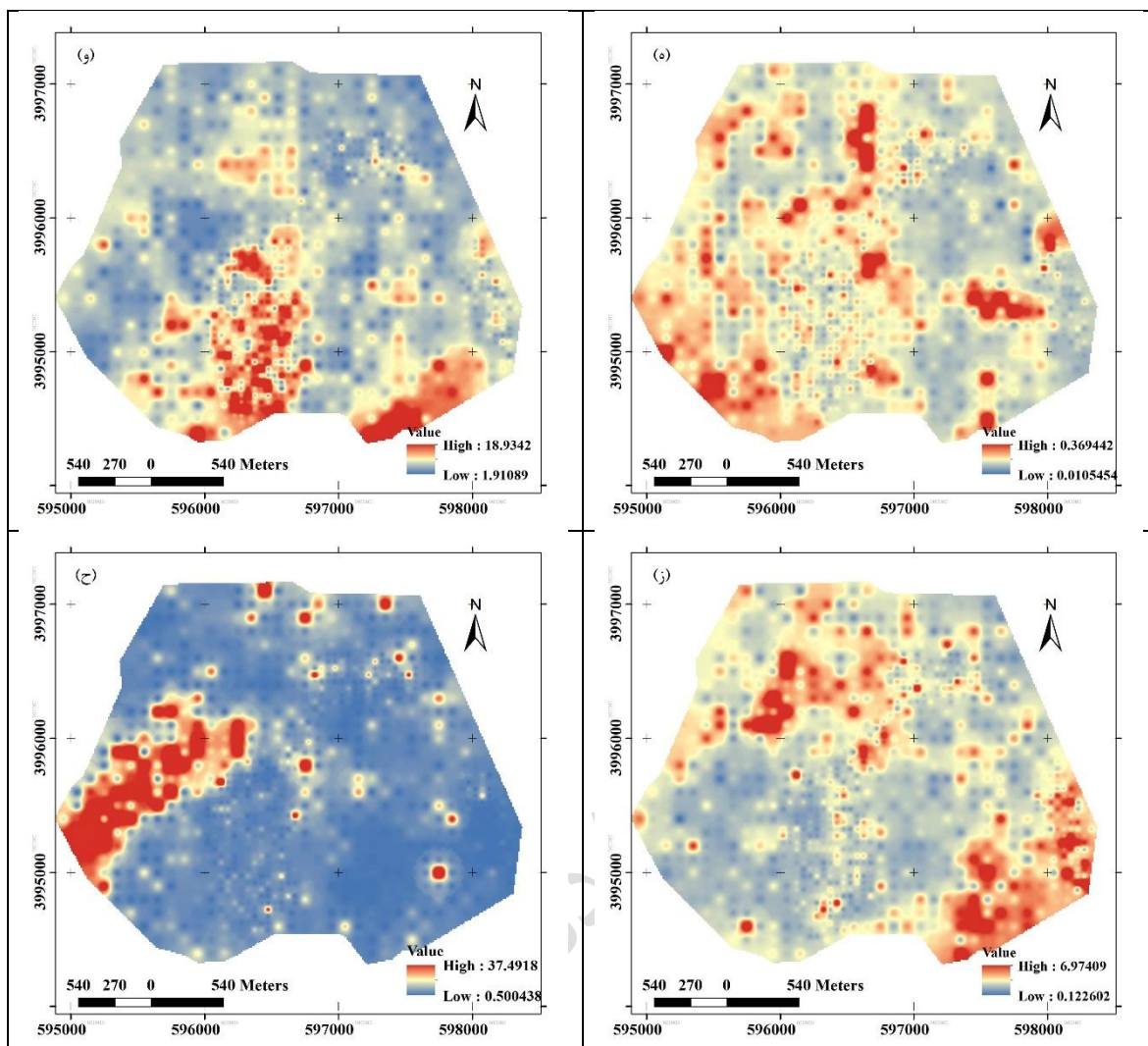


شکل ۵: هیستوگرام متغیرهای $As, Mo, Sn, Ag, Zn, Pb, Cu, Au$

جدول ۱: پارامترهای آماری محاسبه شده به ازای متغیرهای *As, Mo, Sn, Ag, Zn, Pb, Cu, Au*

عنصر	تعداد نمونه ها	میانگین	واریانس	کمینه	بیشینه	چولگی	کشیدگی
Au (ppb)	۱۰۹۵	۶,۷	۱۳۳۷,۹۶	۱	۴۷۰	۱۱,۴۳	۱۳۹,۸۳
Cu (ppm)	۱۰۹۵	۲۷,۷۳	۵۰۵,۴۲۴	۲	۱۴۴	۱,۹۷	۵,۲۷
Pb (ppm)	۱۰۹۵	۹,۵۴۹	۶۳,۹۹۶	۲	۶۶	۴,۱۷	۲۲,۶۷
Zn (ppm)	۱۰۹۵	۶۰,۳۳	۶۸۴,۲۹۴	۵	۲۴۴	۱,۷۹	۶,۸۶
Ag (ppm)	۱۰۹۵	۰,۱۰۶۵۷	۰,۰۰۲۸۴	۰,۰۱	۰,۳۷	۲,۴۳	۸,۵۶
Sn (ppm)	۱۰۹۵	۵,۰۷۳۱	۶,۷۰۸۳	۱,۶	۱۹	۲,۱۱	۶,۷۸
Mo (ppm)	۱۰۹۵	۱,۶۵۴۵	۱,۰۵۹۱	۰,۱	۷	۲,۲۱	۶,۹۶
As (ppm)	۱۰۹۵	۳,۶۲۱	۳۲,۳۳۸	۰,۵	۳۷,۷	۳,۶۸	۱۵,۰۵



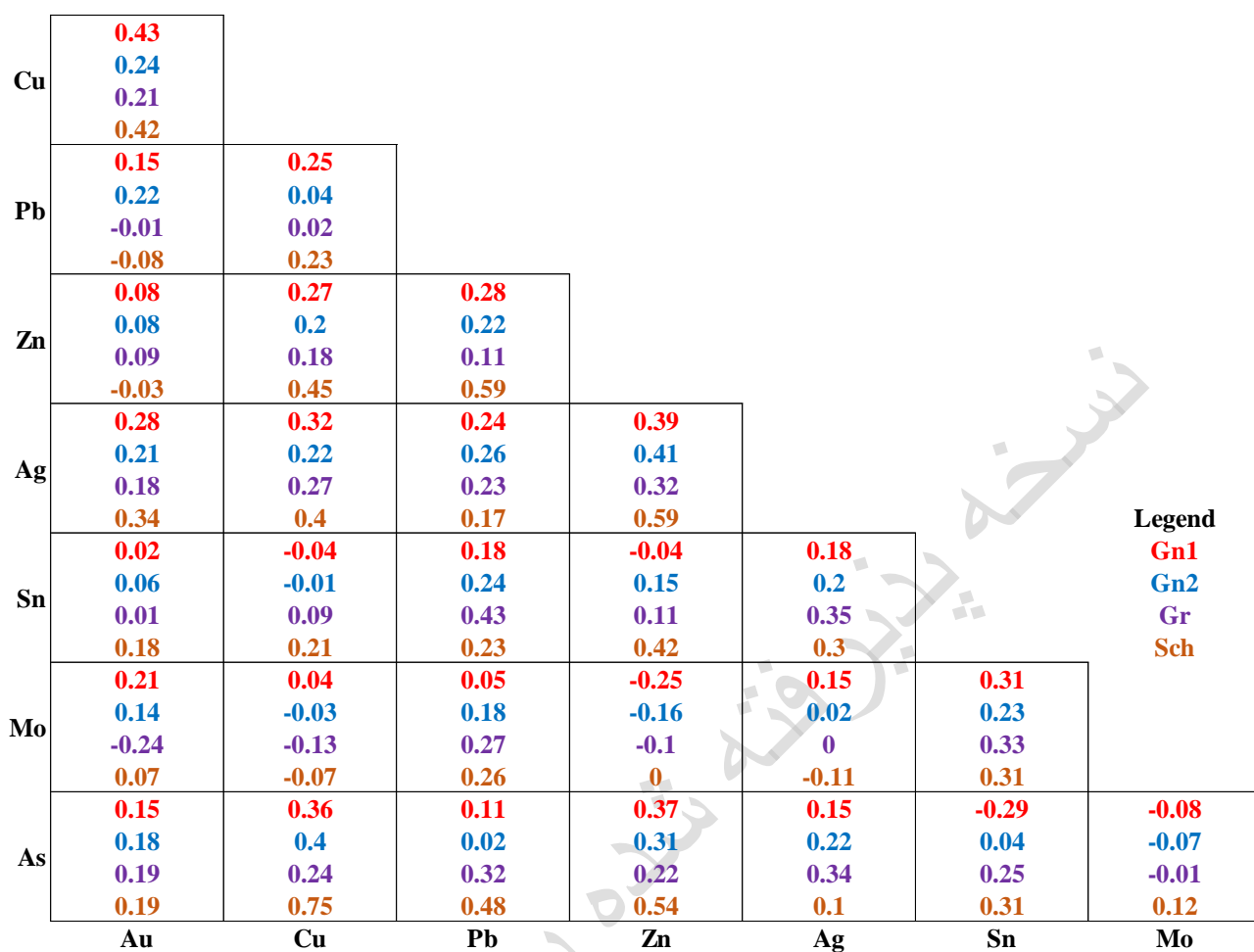


شکل ۶: نقشه توزیع عیار متغیرهای $As, Mo, Sn, Ag, Zn, Pb, Cu, Au$

انتشار

جدول ۲: آماره‌های توصیفی متغیرهای *Au, Cu, Pb, Zn, Ag, Mo, Sn* به ازای واحدهای سنگی مختلف؛

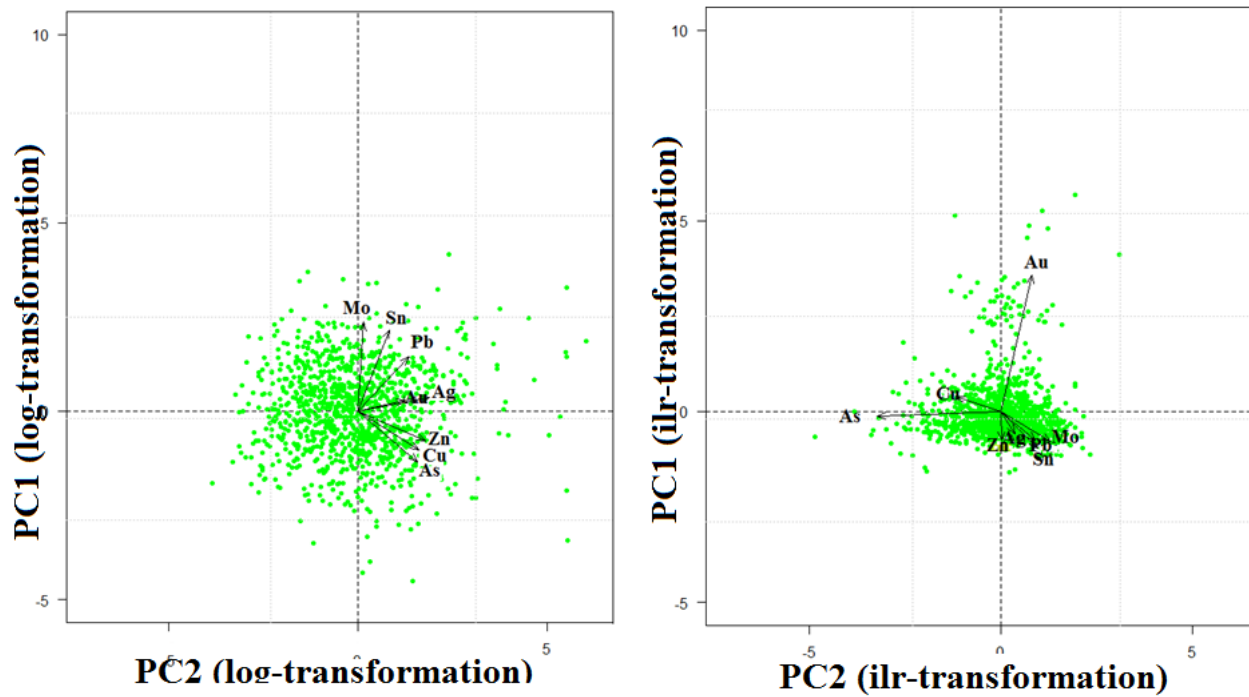
واحد سنگی	متغیر	میانگین	واریانس	کمینه	بیشینه	چولگی	کشیدگی
Gn1	Au (ppb)	۸,۲۹	۱۹۱۳,۳۸	۱	۴۷۰	۹,۶۲	۹۷,۴۴
	Cu (ppm)	۲۶,۶۱۳	۴۰۲,۳۹۲	۲,۳	۱۴۴	۱,۸۵	۴,۵۲
	Pb (ppm)	۸,۸۳۱	۶۱,۹۳۵	۲	۶۶	۴,۷۹	۲۸,۱۴
	Zn (ppm)	۶۱,۸۴	۶۸۶,۹۹	۲۶	۲۴۴	۲,۱۴	۹,۶۵
	Ag (ppm)	۰,۱۰۳۵	۰,۰۰۲۳۸	۰,۰۱	۰,۳۷	۲,۳۴	۹,۰۹
	Sn (ppm)	۵,۵۱۶	۸,۴۶۲	۱,۶	۱۹	۱,۷۷	۴,۴۱
	Mo (ppm)	۱,۴۸۴۶	۰,۶۸۵۶	۰,۴	۷	۲,۳۷	۹,۶
	As (ppm)	۲,۶۷۴	۱۱,۵۷۵	۰,۵	۳۷,۷	۵,۵۸	۴۴,۱
Gn2	Au (ppb)	۳,۱۱۸	۸۲,۲۳	۱	۱۰۳	۸,۸۳	۸۹,۱۱
	Cu (ppm)	۳۶,۷۳	۷۵۰,۷۹	۲	۱۴۴	۱,۴۷	۲,۷
	Pb (ppm)	۹,۵۳۴	۵۷,۳۵۹	۲	۶۶	۴,۱۶	۲۳,۳
	Zn (ppm)	۶۱,۴۵	۷۸۰,۲۸	۳۰	۲۰۰	۱,۳۷	۳,۳۴
	Ag (ppm)	۰,۱۱۱۹	۰,۰۰۴۲۱	۰,۰۲	۰,۳۷	۲,۴۸	۶,۹۷
	Sn (ppm)	۴,۱۰۴	۲,۰۴۴	۲	۸,۸	۰,۷۳	۰,۳۴
	Mo (ppm)	۱,۹۲۸۲	۱,۵۶۶۵	۰,۲	۷	۲,۰۶	۵,۳۳
	As (ppm)	۶,۵۸۴	۷۱,۳۴۶	۰,۵	۳۷,۷	۱,۹۳	۳,۰۷
Gr	Au (ppb)	۴,۳۴	۱۲۳,۷۲	۱	۶۸	۴,۲۸	۱۸,۴۱
	Cu (ppm)	۱۶,۲۸	۳۶۵,۳۵	۲,۷	۱۱۰	۲,۸۴	۹,۲۶
	Pb (ppm)	۱۳,۴۳۸	۷۰,۵۷	۴	۵۸	۲,۴۱	۹,۴۹
	Zn (ppm)	۴۵,۷۱	۵۲۵,۲۴	۳۰	۱۶۰	۲,۹۸	۱۱,۲۷
	Ag (ppm)	۰,۰۸۹۵۳	۰,۰۰۲۴	۰,۰۵	۰,۳۷	۴,۴۹	۲۴,۱۶
	Sn (ppm)	۵,۴۲۹	۵,۵۰۱	۲,۳	۱۹	۲,۵۷	۱۲,۴۷
	Mo (ppm)	۲,۶۸۱	۲,۱۳۵	۰,۷	۷	۱,۱۲	۱,۳۴
	As (ppm)	۱,۵۸۵	۱۶,۷۹۳	۰	۳۷,۷	۸,۳۱	۷۳,۱۸
Sch	Au (ppb)	۲,۱۴۲	۲,۹۹۷	۱	۷,۱	۲,۴۲	۶,۷۳
	Cu (ppm)	۲۷,۵۹	۳۹۱,۸۲	۴,۲	۶۴	۰,۶۹	۰,۳۵
	Pb (ppm)	۱۶,۷۸	۳۱۴,۱۹	۵,۳	۶۶	۲,۳۷	۵,۶۸
	Zn (ppm)	۶۴,۵	۹۶۳,۵۵	۳۰	۱۵۰	۱,۹۸	۵,۵۱
	Ag (ppm)	۰,۱۲۷۵	۰,۰۰۲۵	۰,۰۵	۰,۲۳	۰,۶۹	۰,۷۵
	Sn (ppm)	۳,۹۰۸	۱,۰۸۴	۲,۴	۶,۳	۰,۸۱	۱,۵۵
	Mo (ppm)	۱,۷۹۲	۰,۱۵۴	۱,۱	۲,۳	۰,۶۶	۰
	As (ppm)	۴,۵۵	۱۱۰,۳۷	۰,۵	۳۷,۷	۳,۳۹	۱۱,۶۱



شکل ۷: ضرایب همبستگی بین عناصر به ازای هر کدام از واحدهای سنگی Gn1، Gn2، Gr و Sch؛

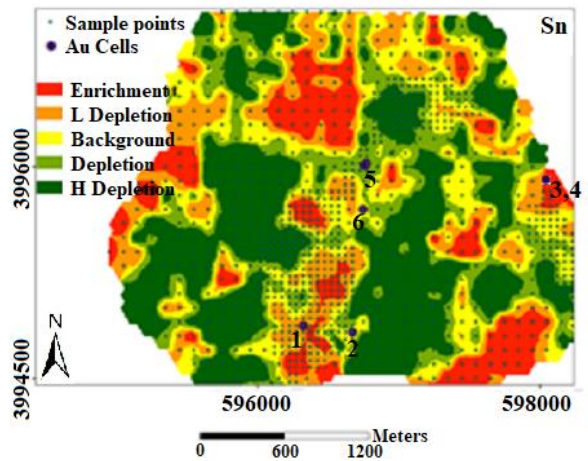
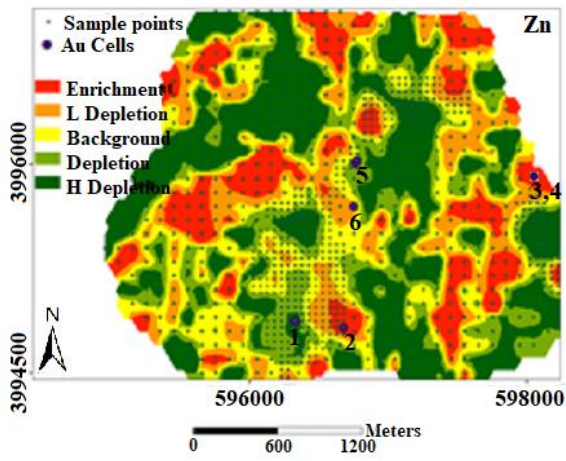
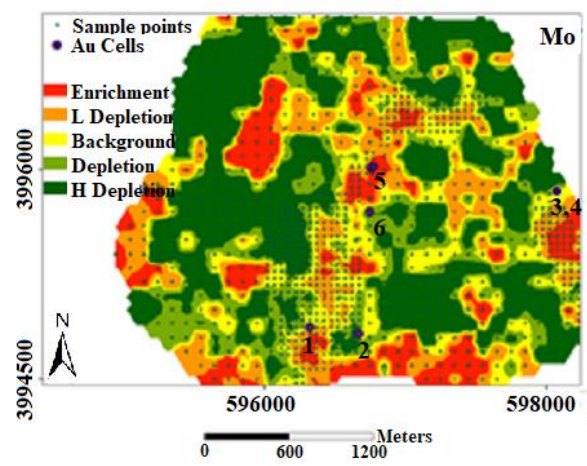
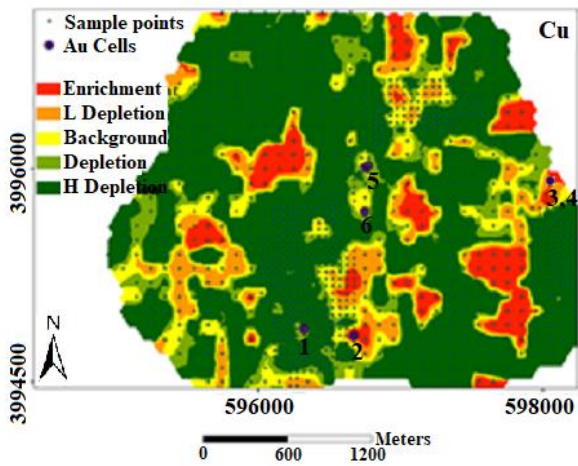
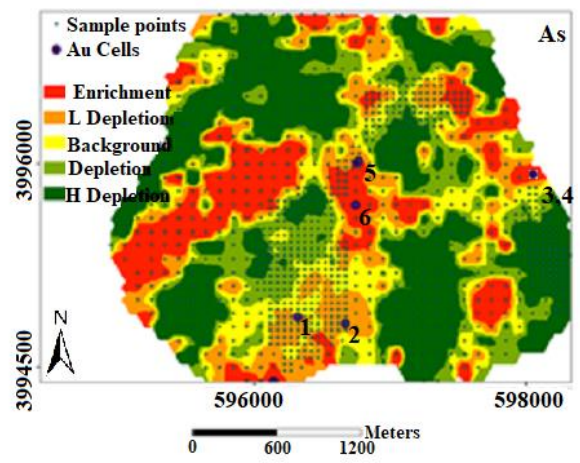
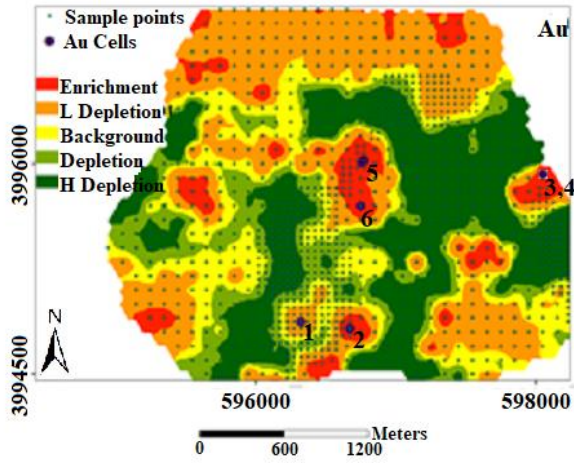
جدول ۳: بارهای حاصل از تحلیل مولفه‌های اصلی بر روی داده‌های تحت تبدیل ilr

	PC1-ilr	PC2-ilr	PC1-log	PC2-log
Au	0.21	0.89	0.56	0.77
Cu	-0.31	0.10	0.46	-0.12
Pb	0.23	-0.19	0.11	0.09
Zn	0.01	-0.19	0.13	-0.10
Ag	0.09	-0.15	0.17	0.01
Sn	0.24	-0.24	0.02	0.05
Mo	0.33	-0.19	0.01	0.15
As	-0.81	-0.03	0.64	-0.59

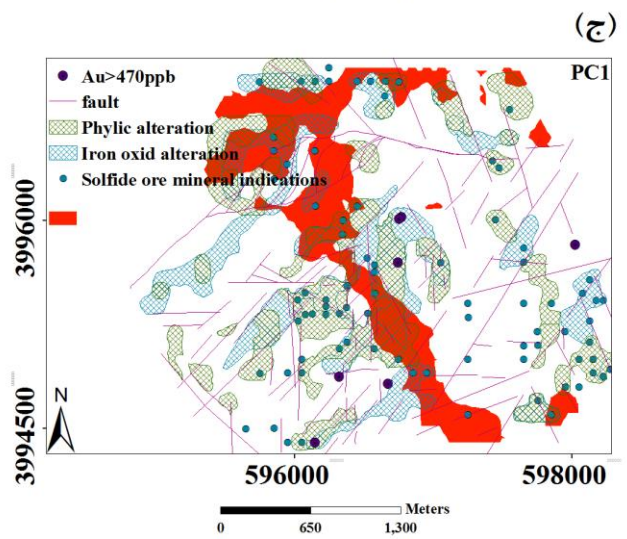
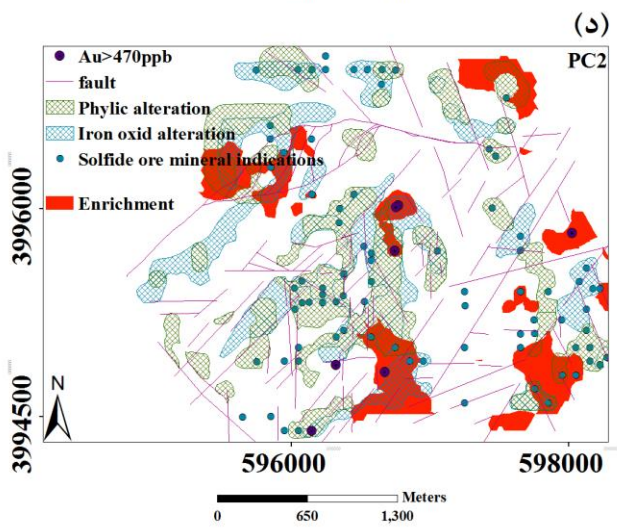
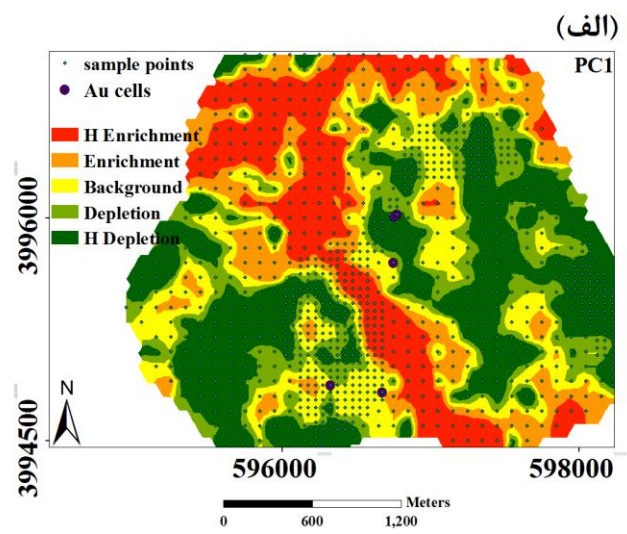
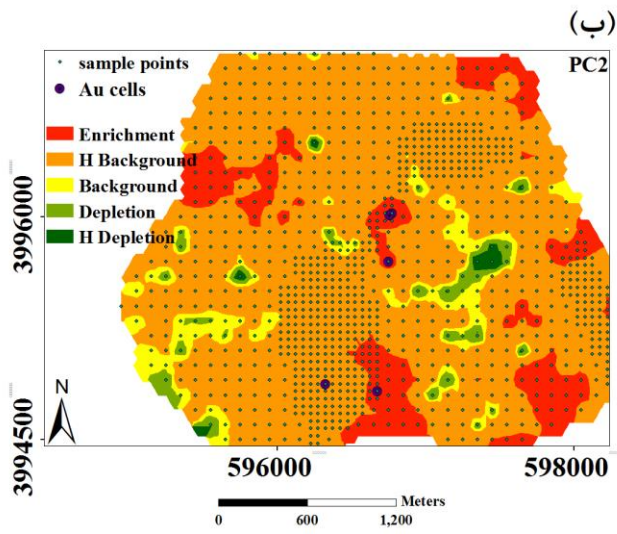


شکل ۸: (آ) نمودار دوتایی مربوط به PC مقاوم بر روی داده های لگاریتم (ب) نمودار دو تایی مربوط به PC مقاوم بر روی داده های تبدیل یافته با استفاده از ilr

پیش از انتشار



شکل ۹: نقشه توزیع تکینگی به ازای عناصر *Au*, *As*, *Cu*, *Mo*, *Zn* و *Sn*



شکل ۱۰: تطابق نقاط هدف $PC2$ و $PC1$ نسبت به سلول‌های پر عیار طلا (الف و ب) و دگرسانی‌های فیلیک و اکسید آهن و تراکم مانه‌های سولفیدی (ج و د)؛