

## کاربرد روش فرکتالی عیار-محیط برای جدایش آنومالی‌های ژئوشیمیایی از حد زمینه در رسوبات آبراهه‌ای، مطالعه موردی منطقه زاجکان، طارم، زنجان

نسترن ابراهیمی، سید جمال شیخ‌ذکریایی\*

گروه زمین‌شناسی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

ایرج رسا

گروه زمین‌شناسی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

پیمان افضل

گروه مهندسی اکتشاف معدن، واحد تهران جنوب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

تاریخ پذیرش: ۸۷/۱۰/۳۰

تاریخ دریافت: ۸۷/۵/۶

### چکیده

**مقدمه:** مهم‌ترین بحث در تحلیل داده‌های ژئوشیمیایی تعیین حد زمینه برای هر عنصر در منطقه مورد مطالعه و جداکردن زمینه از آنومالی‌های عنصر مربوطه است. امروزه یکی از مهم‌ترین روش‌های مورد استفاده در جدایش جوامع آنومالی از زمینه روش‌های مبتنی بر هندسه فرکتال می‌باشد. در میان روش‌های فرکتالی، روش عیار-محیط به‌خصوص در جدایش جوامع در رسوبات آبراهه‌ای از روش‌های معمول می‌باشد.

**هدف:** حد زمینه و جوامع آنومالی با استفاده از این روش برای عناصر مس، طلا، مولیبدن، نقره و آرسنیک در محدوده زاجکان واقع در شهرستان طارم در استان زنجان محاسبه شده است.

**روش بررسی:** نخست ۸۴ نمونه رسوبات آبراهه‌ای از منطقه برداشت شده و مورد آنالیز شیمیایی قرار گرفته‌اند. هم‌چنین پارامترهای آمار کلاسیک تک‌متغیره و دو متغیره برای داده‌ها مورد بررسی قرار گرفته‌اند. پس از آن، تخمین شبکه خاص رسوبات آبراهه‌ای جهت ارزیابی عیار عناصر ذکر شده صورت گرفته است. در مرحله بعد با ترسیم منحنی لگاریتمی عیار-محیط جوامع زمینه و آنومالی‌ها برای

\*عهده دار مکاتبات: Jzr1346@yahoo.com، تلفن: ۰۲۱-۴۴۸۶۵۱۷۴

عناصر مورد نظر در منطقه مورد مطالعه از یکدیگر جدا شدند. در نهایت با ترسیم نقشه‌های توزیع این عناصر در محدوده زاجکان جوامع آنومالی به تفکیک مشخص شده و نتایج آن با نتایج حاصل از آمار کلاسیک مورد مقایسه قرار گرفته‌اند.

**نتایج:** نتایج استفاده از روش فرکتالی عیار-محیط نشانگر وجود آنومالی‌های قطعی این عناصر در بخش شرقی و بخش مرکزی محدوده زاجکان می‌باشد.

**نتیجه‌گیری:** مقایسه دو روش نمایانگر برتری قابل ملاحظه روش فرکتالی عیار-محیط بر آمار کلاسیک می‌باشد.

**واژه‌های کلیدی:** آنومالی ژئوشیمیایی، روش فرکتالی، عیار-محیط، زاجکان، طارم

#### مقدمه

امروزه اکتشاف ژئوشیمیایی - به خصوص از نوع بررسی رسوبات آبراهه‌ای - نقش مهمی را در یافتن مناطق امیدبخش جهت اکتشاف‌های تفصیلی تر ایفا می‌کند. شاید بتوان گفت که مهم ترین نتایج حاصل از تحلیل داده‌های ژئوشیمیایی جدایش جوامع گوناگون آنومالی از یکدیگر و نیز تعیین زمینه برای هر عنصر در منطقه مورد اکتشاف می‌باشد. به عبارتی در صورت عدم تعیین درست زمینه هر عنصر در هر منطقه میزان آنومالی‌ها در آن منطقه دچار نوسان شده و سبب اشتباه‌های اساسی در برآورد محدوده‌های امیدبخش برای ادامه عملیات اکتشافی می‌شود. یکی از مهم ترین روش‌ها برای جدایش جوامع ژئوشیمیایی روش‌های فرکتالی هستند که از سال ۱۹۸۳ توسط پروفسور بنویت ماندلبروت فرانسوی مطرح شده و از سال ۱۹۹۰ به بعد به خصوص توسط دکتر Cheng چینی و همکارانش روش‌های گوناگون استفاده از این هندسه برای جدایش جوامع ژئوشیمیایی ارائه گردیده‌است. یکی از مهم ترین این روش‌ها روش عیار-محیط است که در سال ۱۹۹۴ ارائه شده‌است. (۱-۲)

در این مطالعات ۸۴ نمونه رسوبات آبراهه‌ای برداشت شده و برای آزمایشگاه ACME در کانادا ارسال و مورد آنالیز شیمیایی ۳۵ عنصر به روش ICP-MS قرار گرفتند که در این نوشتار در مورد عناصر مس، طلا، مولیبدن، نقره و آرسنیک بحث صورت گرفته‌است. سپس داده‌ها از نظر آمار کلاسیک یک‌متغیره و دو متغیره مورد بررسی قرار گرفته‌اند. در این مرحله علاوه بر محاسبه پارامترهای آماری تک‌متغیره برای عناصر مربوطه، هیستوگرام و نمودار همبستگی، توزیع و ترسیم آن‌ها مورد تحلیل قرار گرفته‌است. در مرحله بعدی در مورد هندسه فرکتال و روش عیار-محیط صحبت گردیده‌است. سپس با استفاده از این روش جوامع زمینه و آنومالی‌ها برای عناصر ذکر شده از یکدیگر جدا و نقشه آنها به تفکیک ترسیم شده‌اند.

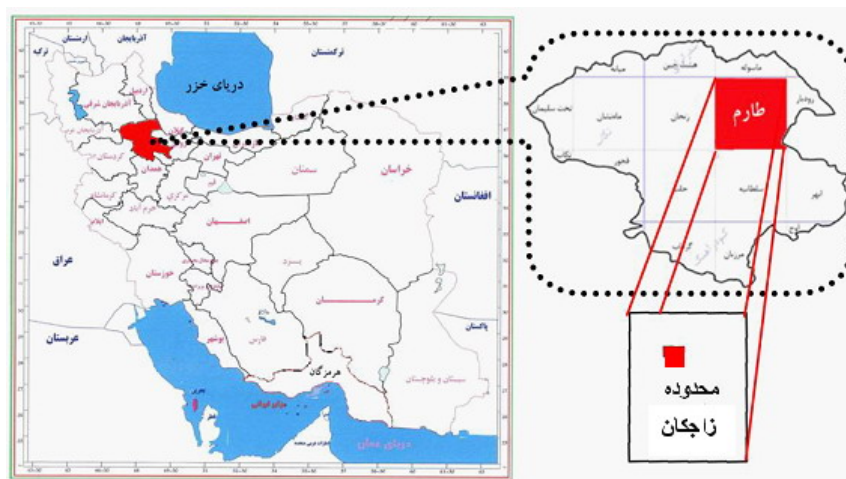
#### مواد و روش‌ها

##### مشخصات عمومی منطقه

محدوده اکتشافی زاجکان در حدود ۵۰ کیلومتری شمال شهرستان زنجان و در جنوب چورزق واقع گردیده است. این منطقه از نظر بخش‌بندی سازمان جغرافیایی کشور در برگه ۱۰۰۰۰۰۰: ۱ طارم و برگه ۵۰۰۰۰۰: ۱ تهم واقع گردیده است (نمودار ۱). در این محدوده روستاهای زاجکان در شمال، علاوه بر شمال‌شرق، شیرمشه در جنوب شرق و تازه کند در غرب محدوده وجود دارند. باتوجه به آثار معدنکاری مس، سرب و روی به صورت گودال و ترانشه در این پهنه انجام شده و کارهای فراوان که در گذشته در این منطقه صورت گرفته است، این محدوده جهت بررسی و مطالعات ژئوشیمیایی عناصر فلزی انتخاب گردیده است.

#### زمین‌شناسی محدوده اکتشافی

محدوده اکتشافی در رشته کوه های طارم که جزئی از رشته‌کوه های البرز غربی است واقع شده است. این رشته‌کوه ها نیز متأثر از کوهزایی آلپ-همالیا می‌باشد و دارای روند عمومی شمال غرب - جنوب شرق است و بوسیله حوضه منجیل (نئوزن) از کوههای طالش و نیز بوسیله دشت زنجان - ابهر از کوههای سلطانیه جدا می‌گردد. واحدهای سنگی عمومی در منطقه شامل سنگ های آتشفشانی ائوسن (گدازه و پیروکلاستیک) و توده های نفوذی گرانیتیوئیدی الیگومیوسن است (نمودار ۲).



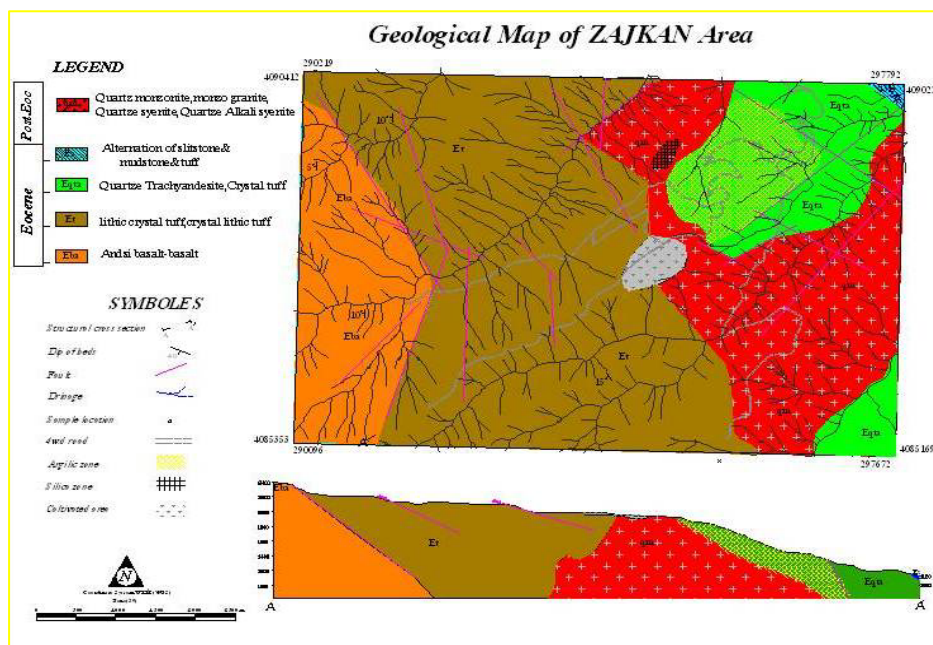
نمودار ۱- موقعیت جغرافیای محدوده زاجکان در نقشه ایران و برگه یکصد هزارم طارم

بخش عمده رخنمون های طارم مجموعه های پیروکلاستیک ائوسن (سازند کرج) است که به دو عضو امند و کردکند تقسیم شده است. لیتولوژی چیره ردیف های آذرین آواری طارم، همانند سایر نواحی البرز، از نوع توف های سبز به همراه میان لایه‌هایی شیلی و گاهی آهکی است. از مشخصه‌های بارز لیتولوژی طارم توده‌های نفوذی گرانیتی و گرانودیوریتی درشت‌دانه است که به درون مجموعه های ولکانی کلاستیک ائوسن (سازند کرج) تزریق شده‌اند و به همین لحاظ این توده ها سن بعد از ائوسن دارند. این توده‌ها باتوجه به شواهد زمین‌شناسی منطقه‌ای مربوط به فاز ماگماتیسیم کوهزایی پیرند هستند که در امتداد ساختار و

گسل های طولی و عمیق بلندی های طارم تزریق شده اند. یکی از مشخصه های توده های نفوذی بعد از ائوسن ایجاد هاله های دگرسان در ولکانو کلاستیک های ائوسن است که بطور عموم فازهای هیدروترمالی آن با تشکیل عناصری نظیر طلای اپی ترمال، مس، سرب - روی و کائولن همراه بوده است.

قدیمی ترین سنگ های منطقه را سنگ های آتشفشانی مربوط به فرآیندهای آتشفشانی دوران ائوسن تشکیل می دهند که همگی در یک محیط رسوبی کم عمق دریایی نهشته شده اند. البته نهشته های قاره ای همچون آگلومرا نیز در منطقه وجود دارند که حجم این سنگ ها بسیار کم می باشد. سنگ های آتشفشانی ائوسن در منطقه به دو بخش گدازه ای و آذرآواری ها تقسیم می شوند که گدازه ها در زیر سنگ های آذرآواری (پیروکلاستیک ها و توف ها) قرار دارند. گدازه های موجود در این منطقه شامل سنگ های آندزیتی، آندزیت بازالت، کوارتز تراکی آندزیت و بازالت می باشند که به طور معمول حجم عمده این سنگها را آندزیت بازالت و کوارتز تراکی آندزیت تشکیل می دهند. در قسمت هایی از منطقه سنگ های آندزیتی دورگه (هیبرید) یا اختلاطی حضور دارند که فرآیند تشکیل آنها در اثر امتزاج دو ماگمای مافیک و فلسیک می باشد که آندزیت بازالتی و بازالت های منطقه در اثر امتزاج با ماگمای اسیدی تر به آندزیت های دورگه تبدیل شدند. که به طور احتمالی در اثر نفوذ توده های پلوتونی اسیدی در منطقه این امکان حاصل گردیده است. (۳)

روند عمومی بیشتر گسل های منطقه شمال غرب - جنوب شرق است اما گسل هایی نیز با روند شمال شرق - جنوب غرب در منطقه وجود دارند. بیشتر ساختارهای این منطقه از سیستم گسلی تبعیت می کنند به طوری که بیشتر آبراهه های منطقه در امتداد گسل ها پدید آمده اند همچنین یکسری از آلتراسیون های موجود در منطقه نیز در امتداد گسل ها پدید آمده اند.



نمودار ۲- نقشه زمین شناسی محدوده زاجکان

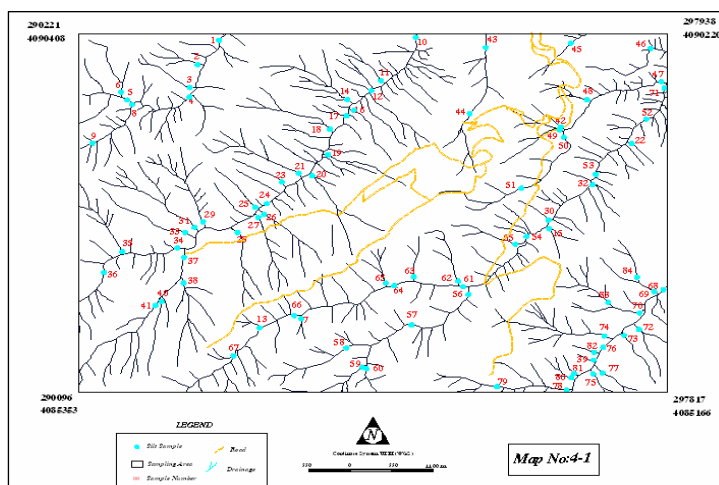
## نتایج و بحث

## زمین‌شناسی اقتصادی منطقه

این منطقه از نظریات های فلززایی در کمربند فلززایی طارم قرار گرفته است. کمربند فلززایی طارم از قزوین (باختر طالقان) شروع شده و با گذر از نواحی شمال فروافتادگی منجیل و کوههای تالش تا شمال باختری میانه امتداد می‌یابد. این منطقه از جنوب به محور ابهر - زنجان - میانه محدود می‌شود. در حقیقت از نظر ساختاری این کمربند از شمال به گسل های بزرگ سفیدرود و از جنوب به گسل تبریز و سلطانیه و سلطانیه - تاکستان و از باختر توسط گسل آستارا محدود می‌شود. در این محور کانی‌سازی عناصری چون منگنز، باریم، روی، سرب، طلا، مس، مولیبدن، آهن، نقره در تشکیلات ترشیاری دیده می‌شود. در شرق محدوده و در واحدهای نفوذی، رگه‌های حاوی کالکوپیریت، پیریت، مالاکیت و اکسیدهای ثانویه آهن در روندهای شکستگی رخنمون دارند که عیار مس آن به ۵ درصد نیز می‌رسد. در نزدیکی این منطقه اندیس مس گمان مشاهده شده است.<sup>(۱)</sup>

## نمونه‌برداری

برای طراحی شبکه نمونه‌برداری از نقشه توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ جزلا (شماره 5763 IV NE) و عکس های هوایی ۱:۲۰۰۰۰ منطقه استفاده گردیده است. طراحی شبکه نمونه‌برداری با روش مرکز ثقل صورت پذیرفت (نمودار ۳). درجه مرکز ثقل را عوامل متعددی نظیر چینه‌شناسی، سنگ‌شناسی، آلتراسیون و تکتونیک کنترل می‌کنند که در این محدوده به دلیل نفوذ توده نفوذی در واحدهای ولکانیک و پیروکلاستیک و نیز وجود نشانه‌های معدنی شناخته شده تراکم نمونه‌برداری در این مناطق افزایش یافت. پس از اتمام نمونه‌برداری و حذف یا اضافه شدن نمونه‌های لازم تعداد ۸۴ نمونه ژئوشیمیایی به دست آمد. بنابراین تراکم شبکه نمونه‌برداری برای این محدوده با وسعت تقریبی ۳۸/۳ کیلومتر، ۲/۲ نمونه برای هر کیلومتر مربع می‌باشد.



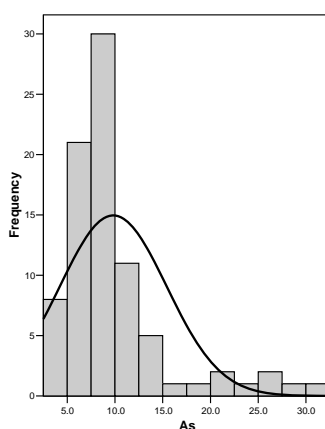
نمودار ۳- شبکه نمونه‌برداری ژئوشیمیایی از رسوبات آبراه‌های محدوده زاگان

## مطالعات آمار کلاسیک تک‌متغیره

استفاده از آمار کلاسیک تک‌متغیره می‌تواند دیدی کلی از وضعیت عناصر در یک منطقه را ارائه کند. مساله مهم در آمار کلاسیک وابستگی نتایج آن به نوع توزیع عنصر مربوطه در منطقه با در نظر گرفتن داده به طور مستقل است. با کمک آمار کلاسیک تک‌متغیره می‌توان به خصوصیات نظیر میانگین، انحراف معیار و واریانس یک عنصر در منطقه مورد مطالعه پی برد. همان گونه که در پیش گفته شد ۸۴ نمونه برداشت شده به روش ICP-MS مورد آنالیز ۳۵ عنصری قرار گرفتند که نتایج برای ۵ عنصر مس، طلا، مولیبدن، نقره و آرسنیک در جدول شماره ۱ آورده شده است. در این مرحله پارامترهای آماری عناصر مس، طلا، مولیبدن، نقره و آرسنیک با کمک آمار کلاسیک محاسبه شده‌اند که نتیجه آن در جدول شماره ۲ آورده شده است. سپس با ترسیم هیستوگرام هر یک از این عناصر، توزیع این عناصر بررسی شده است. این بررسی نشان داد که تنها عنصر آرسنیک دارای توزیع نزدیک به توزیع نرمال بوده و دیگر عناصر به دلیل وجود مقادیر خارج از ردیف دارای توزیع لاگ نرمال می‌باشند (نمودار ۴). بر این اساس می‌توان با آمار کلاسیک برای عنصر آرسنیک حد زمینه (میانگین + انحراف معیار) و حد آنومالی (میانگین + دو برابر انحراف معیار) را تعیین نمود. برای عناصر دیگر حد زمینه برابر با میانه می‌باشد (جدول ۳). (۱، ۴، ۵، ۸، ۹)

## مطالعه همبستگی عناصر در آمار دو متغیره

مهم ترین کار در آمار دو متغیره سنجش ضریب همبستگی دو پارامتر نسبت به هم است که این امر می‌تواند سبب شناخت ارتباط دو عنصر با یکدیگر در منطقه مربوطه شود. (۱، ۳، ۶، ۹، ۱۰) به همین جهت در این مرحله ضرایب همبستگی بین عناصر منتخب در محدوده زاجکان مورد محاسبه قرار گرفته و نمودارهای همبستگی آن‌ها ترسیم شده است. مطالعات نشان می‌دهد که عنصر مس با تمام عناصر به جز آرسنیک همبستگی مثبت دارد یعنی با افزایش میزان مس، میزان مولیبدن، طلا و نقره نیز در این محدوده افزایش می‌یابد (نمودار ۵). عنصر طلا نیز با تمام عناصر دارای همبستگی مثبت ولی نه چندان زیاد بوده و تنها همبستگی آن با عنصر مولیبدن بسیار کم می‌باشد. با افزایش طلا به خصوص مقدار نقره و آرسنیک در محدوده مورد مطالعه افزایش می‌یابد (نمودار ۶).



نمودار ۴- هیستوگرام عنصر آرسنیک در محدوده مورد مطالعه

جدول ۱- تایج حاصل از آنالیز نمونه‌ها برای عناصر طلا، مس، مولیبدن، نقره و آرسنیک

| شماره نمونه | مس (ppm) | طلا (ppb) | مولیبدن (ppm) | نقره (ppb) | آرسنیک (ppm) |
|-------------|----------|-----------|---------------|------------|--------------|
| Zj-1        | ۴۸/۱۹    | ۰/۷       | ۰/۹۲          | ۴۹         | ۸۳           |
| Zj-2        | ۱۰۳/۲۴   | ۲/۲       | ۰/۴۵          | ۱۵۰        | ۳۲/۲         |
| Zj-3        | ۴۴/۳     | ۰/۴       | ۰/۹           | ۵۱         | ۷/۹          |
| Zj-4        | ۴۵/۳۵    | ۰/۷       | ۱/۰۹          | ۵۷         | ۷/۷          |
| Zj-5        | ۳۷/۲۱    | ۱/۲       | ۱/۰۲          | ۴۸         | ۸/۲          |
| Zj-6        | ۵۱/۹۳    | ۳/۷       | ۰/۵۹          | ۶۹         | ۹/۱          |
| Zj-7        | ۴۸/۷۲    | ۱/۲       | ۰/۵۴          | ۶۰         | ۸/۹          |
| Zj-8        | ۳۴/۸۳    | ۱         | ۰/۹           | ۳۸         | ۵/۵          |
| Zj-9        | ۳۴/۶۷    | ۱/۳       | ۰/۸۲          | ۵۰         | ۶            |
| Zj-10       | ۴۲/۳۸    | ۱/۲       | ۱/۰۶          | ۳۰         | ۷/۳          |
| Zj-11       | ۵۰/۷۱    | ۱         | ۱/۰۴          | ۶۴         | ۱۱/۳         |
| Zj-12       | ۴۹/۸۹    | ۰/۳       | ۰/۹۴          | ۳۷         | ۷/۸          |
| Zj-13       | ۲۹/۶۹    | ۰/۸       | ۰/۶۵          | ۴۸         | ۱۱/۳         |
| Zj-14       | ۴۲/۵۱    | ۱/۸       | ۰/۹۴          | ۶۵         | ۱۲/۳         |
| Zj-15       | ۴۴/۳۶    | ۱/۴       | ۱/۹۴          | ۴۵         | ۱۱/۲         |
| Zj-16       | ۹۳/۰۵    | ۱/۳       | ۰/۸۸          | ۶۴         | ۱۳/۷         |
| Zj-17       | ۴۷/۳۹    | ۰/۶       | ۰/۹           | ۴۳         | ۶/۹          |
| Zj-18       | ۴۰/۵۸    | ۰/۱۵      | ۰/۴           | ۵۰         | ۱۵/۷         |
| Zj-19       | ۲۸/۹۳    | ۶/۳       | ۰/۴۴          | ۲۶         | ۲۰/۶         |
| Zj-20       | ۲۳/۹۴    | ۱/۲       | ۰/۵           | ۳۴         | ۹/۳          |
| Zj-21       | ۹۵/۶۹    | ۲/۷       | ۰/۶۴          | ۹۶         | ۹/۷          |
| Zj-22       | ۲۴/۰۴    | ۲/۶       | ۰/۷۴          | ۲۰۱        | ۱۳/۴         |
| Zj-23       | ۱۹۰/۲    | ۷/۳       | ۰/۷           | ۸۲         | ۸/۸          |
| Zj-24       | ۴۸       | ۰/۵       | ۰/۸۴          | ۳۸         | ۵/۹          |
| Zj-25       | ۹۶/۰۸    | ۰/۸       | ۰/۶۹          | ۸۷         | ۷/۱          |
| Zj-26       | ۲۲/۰۳    | ۹/۷       | ۱/۱۷          | ۱۰۶        | ۵/۷          |
| Zj-27       | ۳۹/۷۹    | ۰/۳       | ۰/۵۲          | ۶۶         | ۶/۸          |
| Zj-28       | ۳۴۲/۹۸   | ۳/۹       | ۱/۲۴          | ۱۲۰        | ۷/۱          |
| Zj-29       | ۳۵/۹۵    | ۰/۸       | ۰/۷۸          | ۴۷         | ۶            |
| Zj-30       | ۶۲/۱۵    | ۱/۲       | ۴/۵۷          | ۳۷         | ۹/۹          |
| Zj-31       | ۳۳/۴۱    | ۰/۸       | ۰/۴۵          | ۴۷         | ۵/۲          |
| Zj-32       | ۷۹/۲۴    | ۱/۳       | ۱/۳۱          | ۶۷         | ۱۱/۴         |
| Zj-33       | ۲۸/۱۲    | ۰/۶       | ۰/۴۹          | ۵۲         | ۶/۲          |
| Zj-34       | ۵۴/۰۷    | ۱         | ۰/۷۸          | ۳۴         | ۷            |
| Zj-35       | ۲۹/۲۴    | ۰/۱۵      | ۰/۵۷          | ۲۹         | ۴/۵          |
| Zj-36       | ۳۲/۹۳    | ۰/۲       | ۰/۵۳          | ۲۶         | ۴/۲          |
| Zj-37       | ۳۴/۷۲    | ۰/۸       | ۰/۴۷          | ۳۱         | ۴/۱          |
| Zj-38       | ۳۴/۲۱    | ۰/۹       | ۰/۴۸          | ۳۰         | ۳/۸          |

ادامه جدول ۱ ...

| شماره نمونه | مس (ppm) | طلا (ppb) | مولیبدن (ppm) | نقره (ppb) | آرسنیک (ppm) |
|-------------|----------|-----------|---------------|------------|--------------|
| Zj-39       | ۶۸/۲۵    | ۰/۷       | ۱/۳           | ۵۸         | ۷/۵          |
| Zj-40       | ۳۱/۶۲    | ۰/۱۵      | ۰/۵۸          | ۴۹         | ۶/۴          |
| Zj-41       | ۴۲/۴۲    | ۰/۹       | ۰/۵۴          | ۴۵         | ۵/۱          |
| Zj-42       | ۲۰/۹۱    | ۱/۱       | ۰/۹۹          | ۲۲         | ۱۳/۱         |
| Zj-43       | ۳۲/۶۸    | ۰/۸       | ۲/۵۵          | ۳۷         | ۱۳/۷         |
| Zj-44       | ۳۱/۹۷    | ۱/۴       | ۰/۹۴          | ۲۷         | ۱۱/۲         |
| Zj-45       | ۴۸/۳۳    | ۱/۲       | ۰/۸           | ۳۷         | ۱۰/۲         |
| Zj-46       | ۳۶/۲۹    | ۰/۴       | ۰/۶۴          | ۲۹         | ۹/۲          |
| Zj-47       | ۴۶/۸     | ۱/۷       | ۱/۴           | ۴۴         | ۲۲           |
| Zj-48       | ۲۰/۷۹    | ۰/۹       | ۰/۵۸          | ۱۸         | ۱۰/۲         |
| Zj-49       | ۳۸/۷۴    | ۲/۲       | ۱/۳۶          | ۶۱         | ۱۲/۵         |
| Zj-50       | ۴۳/۰۹    | ۱/۱       | ۱/۳۸          | ۳۵         | ۱۸           |
| Zj-51       | ۴۱/۰۵    | ۱/۶       | ۱/۷۹          | ۲۷         | ۲۶/۶         |
| Zj-52       | ۴۹/۵۳    | ۰/۱۵      | ۱/۸۸          | ۵۸         | ۹/۵          |
| Zj-53       | ۴۰/۷۹    | ۱/۴       | ۱/۸۲          | ۴۵         | ۸/۴          |
| Zj-54       | ۹۱/۹۹    | ۱/۹       | ۱/۲۴          | ۷۰         | ۸            |
| Zj-55       | ۱۰۹/۲۵   | ۲/۴       | ۱/۸           | ۹۰         | ۹/۳          |
| Zj-56       | ۳۲/۷۳    | ۰/۵       | ۰/۵۸          | ۶۷         | ۷            |
| Zj-57       | ۴۴/۹۱    | ۰/۷       | ۰/۷           | ۶۳         | ۶/۶          |
| Zj-58       | ۳۷/۲۸    | ۰/۶       | ۰/۵۹          | ۵۲         | ۷/۷          |
| Zj-59       | ۴۴/۲۵    | ۰/۹       | ۰/۶۸          | ۶۵         | ۸/۲          |
| Zj-60       | ۲۴/۷۶    | ۰/۱۵      | ۰/۳۷          | ۴۰         | ۵/۵          |
| Zj-61       | ۲۳/۶۴    | ۰/۷       | ۰/۶۵          | ۴۵         | ۸/۱          |
| Zj-62       | ۱۷/۰۴    | ۱/۶       | ۰/۵           | ۲۶         | ۲۶/۴         |
| Zj-63       | ۵۴/۲۴    | ۴/۹       | ۰/۴۳          | ۶۶         | ۱۱/۵         |
| Zj-64       | ۲۸/۸۸    | ۱/۴       | ۰/۶۱          | ۴۹         | ۶/۶          |
| Zj-65       | ۱۴/۲۶    | ۱/۳       | ۰/۵۱          | ۳۷         | ۸/۴          |
| Zj-66       | ۳۰       | ۰/۷       | ۰/۶۶          | ۵۳         | ۶            |
| Zj-67       | ۲۶/۷     | ۱/۱       | ۰/۵           | ۴۷         | ۵/۳          |
| Zj-68       | ۳۵/۵۳    | ۰/۴       | ۰/۷۴          | ۲۷         | ۳/۸          |
| Zj-69       | ۳۴/۴۱    | ۰/۱۵      | ۰/۷۵          | ۲۱         | ۴/۸          |
| Zj-70       | ۱۹۵/۹۸   | ۱/۶       | ۷/۶۹          | ۳۹۰        | ۸/۹          |
| Zj-71       | ۵۵/۷۹    | ۱/۸       | ۲/۱۳          | ۴۷         | ۹            |
| Zj-72       | ۹۴/۲     | ۱/۳       | ۵/۲۴          | ۳۰۸        | ۲۳/۴         |
| Zj-73       | ۶۲/۸۱    | ۱/۳       | ۱/۸۳          | ۵۶         | ۱۱/۷         |
| Zj-74       | ۷۰/۳۴    | ۱/۴       | ۰/۸۳          | ۳۹         | ۸/۷          |
| Zj-75       | ۸۹/۰۵    | ۱/۵       | ۱/۲۲          | ۴۹         | ۷/۸          |
| Zj-76       | ۳۳/۷۵    | ۰/۵       | ۰/۷           | ۲۳         | ۳/۹          |
| Zj-77       | ۶۵/۹۴    | ۱/۲       | ۱/۱۱          | ۴۷         | ۸            |
| Zj-78       | ۱۸/۹۴    | ۱/۸       | ۰/۴۱          | ۴۳         | ۱۰/۸         |
| Zj-79       | ۱۸/۹۲    | ۵/۷       | ۰/۷۲          | ۱۰۲        | ۲۷/۷         |
| Zj-80       | ۸۹/۰۵    | ۱/۸       | ۱/۱۹          | ۶۹         | ۸/۸          |
| Zj-81       | ۹۰/۰۵    | ۱/۴       | ۰/۸۵          | ۶۵         | ۹/۸          |
| Zj-82       | ۱۳۱/۲۱   | ۱/۴       | ۲/۷۸          | ۷۳         | ۸/۷          |
| Zj-83       | ۸۰/۶     | ۱/۹       | ۱/۷۱          | ۶۹         | ۸/۳          |
| Zj-84       | ۲۳/۲۳    | ۱/۲       | ۰/۶۳          | ۲۷         | ۴/۳          |

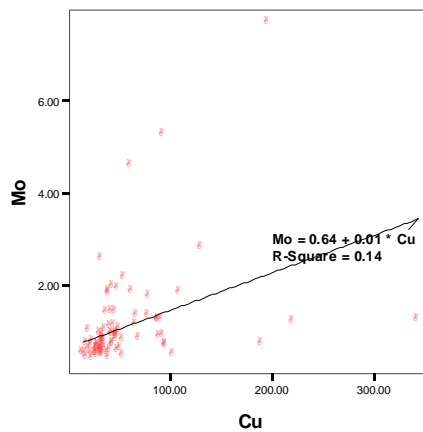


جدول ۲- نتایج حاصل از آمار کلاسیک برای عناصر طلا، مس، مولیبدن، نقره و آرسنیک

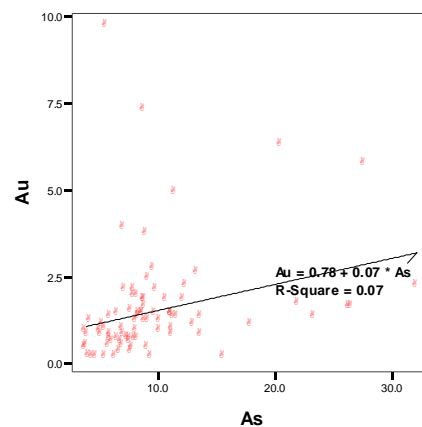
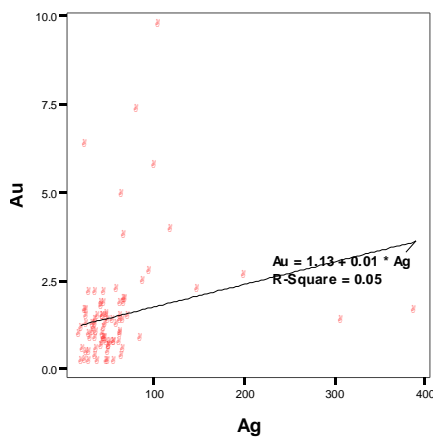
| نام عنصر      | ماکزیمم | می نیمم | میانگین | واریانس | انحراف معیار |
|---------------|---------|---------|---------|---------|--------------|
| مس (ppm)      | ۳۴۲/۹۸  | ۱۴/۲۶   | ۵۷/۱    | ۲۴۰۱/۴۸ | ۴۹           |
| طلا (ppb)     | ۹/۷     | ۰/۱۵    | ۱/۵۲    | ۲/۴۷    | ۱/۵۷         |
| مولیبدن (ppm) | ۷/۶۹    | ۰/۳۷    | ۱/۱     | ۱/۱۴    | ۱/۰۷         |
| نقره (ppb)    | ۳۹۰     | ۱۸      | ۶۰/۶    | ۲۸۷۷/۱۱ | ۵۳/۶۴        |
| آرسنیک (ppm)  | ۳۲/۲    | ۳/۸     | ۹/۸۱    | ۳۱/۳۸   | ۵/۶          |

جدول ۳- حد زمینه برای عناصر موردنظر در محدوده زاجکان

| نام عنصر | مس (ppm.) | طلا (ppb.) | مولیبدن (ppm.) | نقره (ppb.) | آرسنیک (ppm.) |
|----------|-----------|------------|----------------|-------------|---------------|
| حد زمینه | ۴۲/۴۶     | ۱/۲        | ۰/۷۹           | ۴۸/۵        | ۱۵/۴۱         |



نمودار ۵- نمودار همبستگی مس و مولیبدن



نمودار ۶- الف: نمودار همبستگی طلا و نقره ب: نمودار همبستگی آرسنیک و طلا

## تخمین شبکه‌ای داده‌ها

باتوجه به گستردگی مناطق تحت پوشش اکتشاف در روش رسوبات آبراهه‌ای و نیز چگالی پایین نمونه‌برداری، روش تخمین شبکه‌ای برای ارزیابی توزیع عیار عناصر در رسوبات آبراهه‌ای کارایی بسیار خوبی دارد. (۱، ۲، ۴، ۹، ۱۱) در چنین حالتی افزایش تعداد سلول‌هایی که در مورد آن‌ها داده‌ای بدست می‌آید، موجب می‌گردد تا ارتباط منطقی بین فراوانی یک عنصر در سلول‌ها ظاهر گشته و امکان ارزیابی منطقه‌بندی موجود در نقشه توزیع یک عنصر فراهم گردد. یعنی اگر آنومالی توسط مقادیر زمینه محصور گردد، در این صورت مدل تغییرات تدریجی از حد زمینه به حد آستانه و از حد آستانه به آنومالی موجب افزایش اعتبار آنومالی خواهد گردید. (۱، ۲، ۵، ۹-۱۱) تبدیل یک شبکه نامنظم نمونه‌برداری به یک شبکه منظم، از امتیازات دیگر تخمین شبکه‌ای است. مهم‌ترین ویژگی رسوبات آبراهه‌ای به منظور ارزیابی پتانسیل کانی‌سازی می‌تواند ناشی از این واقعیت باشد که مقدار هر متغیر در رسوبات رودخانه‌ای دارای خاصیت برداری است و جهت این بردار همواره برای ناحیه بالادست خود صادق است<sup>(۹، ۱۱)</sup>. پس باید مرز حوضه‌های آبریز مربوط به نمونه‌ها و سپس جهت داده‌ها که می‌تواند در تخمین شرکت نماید مشخص شود. در روش تخمین شبکه ابتدا نقشه مورد نظر بوسیله شبکه‌ای از سلول‌های هم‌بعد پوشانده می‌شود، که ابعاد شبکه به مقیاس برداشت‌ها و دقت مورد نیاز بستگی دارد. در این تحقیق از شبکه‌های ۵۰ در ۵۰ متر استفاده گردید. به عبارتی محیط هر سلول شبکه برابر ۲۰۰ متر است. از عیارهای تخمین‌زده‌شده برای محاسبات در هندسه فرکتال استفاده شده است.

## روش فرکتالی عیار-محیط

در هندسه فرکتال هر شکل و پیچیدگی‌های آن در قالب اعداد نشان‌داده می‌شوند، همان‌طور که در هندسه اقلیدسی مفهوم‌های زاویه، طول، مساحت و فضاها را یک‌بعدی تا سه‌بعدی به‌کار می‌روند. (۶) در هندسه فرکتال بعدها فرکتالی وجود دارند که به‌طور معمول اعداد صحیح نیستند و بعدها فرکتالی نامیده می‌شوند که برای بیان پیچیدگی یک شکل می‌توان از آن استفاده نمود. بر این اساس روش‌های گوناگون آنالیز فرکتالی همچون عیار-مساحت، عیار-فاصله، عیار-محیط و طیف‌توان ارائه شدند که یکی از مهم‌ترین این روش‌ها روش عیار-محیط می‌باشد. (۵، ۶، ۸-۱۰)

اساس این روش بر میزان محیطی است که هر عیار خاص در منطقه مورد مطالعه اشغال نموده است. هر چه عیار عنصر افزایش یابد میزان محیط اشغالی توسط آن کاهش می‌یابد. امروزه یکی از مرسوم‌ترین روش‌ها برای نمایش توزیع عیار یک عنصر در یک منطقه ترسیم نقشه‌کتوری (منحنی‌میزان) هم‌عیار عنصر مربوطه در منطقه مورد مطالعه است. اگر مقدار هر کنتور عیاری  $\rho$  در نظر گرفته شود، می‌توان یک معادله‌توانی برای تمرکز مواد با خواص فرکتالی ارائه نمود: (۶، ۹، ۱۱، ۱۲)

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

مقدار  $D$  در حقیقت نمایانگر بعد فرکتالی مربوط به دامنه‌های متفاوت  $\rho$  را نشان می‌دهد. با ترسیم تغییرات محیط در برابر عیار در نموداری لگاریتمی می‌توان بعد هر جامعه را از طریق شیب خط برازش‌شده به آن حساب نمود. نقاط شکست (تغییر شیب خط برازش‌شده) در این نمودار بیانگر تغییر جامعه‌ای به جامعه دیگر

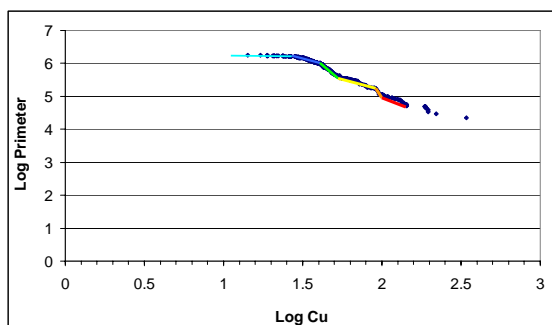
است، به گونه‌ای که علاوه بر جداکردن زمینه می‌توان آنومالی‌های ممکن، احتمالی و قطعی یک عنصر و حتی در برخی موارد کانی‌زایی‌های اصلی و فرعی مربوط به آن عنصر را از یکدیگر جدا نمود.<sup>(۱۰، ۱۲، ۱۳)</sup> این توانایی منحصر به فرد به خاطر ماهیت فرکتالی توزیع عناصر در طبیعت است. این مساله سبب می‌شود که نیازی به حذف مقادیر خارج از ردیف نباشد زیرا به دلیل ماهیت فرکتالی داده‌ها به‌طور خودکار این داده‌ها به‌کنار گذاشته می‌شوند.<sup>(۱۰، ۱۵، ۱۶)</sup> در روش عیار-محیط، تغییرات شدید میزان محیط سبب تغییر بعد فرکتال می‌گردد.

#### جداسازی جوامع ژئوشیمیایی در عناصر ذکر شده با استفاده از روش فرکتالی عیار-محیط

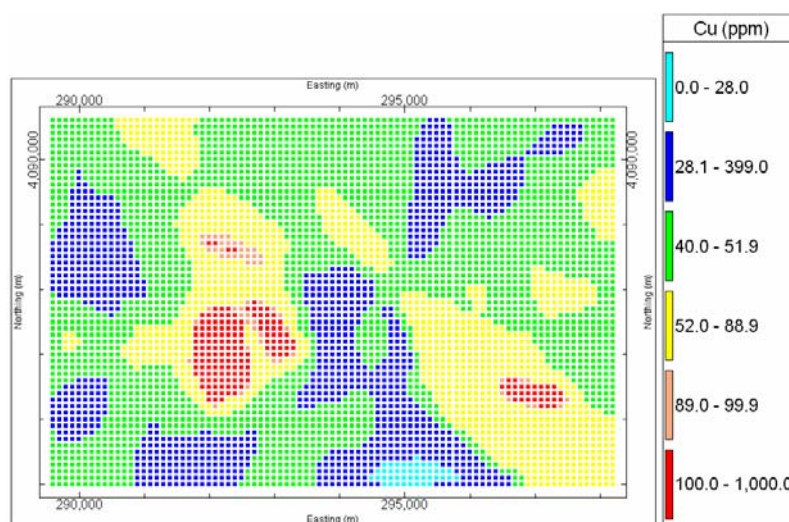
نخستین کاری که در این مرحله صورت پذیرفت، شبکه‌بندی محدوده مورد مطالعه بود که بر اساس آن، محدوده اکتشافی به ۴۴۵۱ سلول با ابعاد ۵۰×۵۰ متر بخش‌بندی شد. سپس با روش تخمین شبکه میزان عیار برای هر یک از عناصر مس، طلا، نقره، مولیبدن و آرسنیک در هر سلول مورد تخمین قرار گرفت. با توجه به این که محیط را در نرم‌افزار می‌توان با کشیدن منحنی بسته به راحتی محاسبه نمود و نیز مقدار عیار هر عنصر برای هر سلول محاسبه شده است، پس ترسیم منحنی لگاریتمی عیار-محیط برای هر عنصر کار آسانی می‌باشد.<sup>(۱۵، ۱۶)</sup> بر این اساس منحنی‌های لگاریتمی عیار-محیط برای ۵ عنصر آهن، مس، طلا، سرب و روی در منطقه مورد مطالعه در نرم‌افزار Excel ترسیم شده و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته‌اند. سپس نقشه‌های جوامع ژئوشیمیایی جدا شده برای این عناصر در نرم‌افزار RockWorks 2006 ترسیم شده‌اند. لازم به ذکر است که به سبب گسل خوردگی محدوده مورد مطالعه اثر آن‌ها نیز بر روی داده‌ها اعمال گردیده است. لازم به ذکر است که در پایان منحنی‌های لگاریتمی نقاطی گسسته مشاهده می‌شود که آن‌ها در محاسبات وارد نمی‌شوند.<sup>(۱۹)</sup>

مس

نمودار لگاریتمی عیار-محیط این عنصر نشانگر وجود دو مرحله کانی‌زایی فرعی (سه جامعه سمت چپ) و کانی‌زایی اصلی (سه جامعه سمت راست) می‌باشد (نمودار ۷). بر این اساس حد آستانه‌ای عنصر مس در رسوبات آبراهه‌ای محدوده برابر ۵۳ ppm (آغاز خط سبز) و آنومالی قطعی مس از ۱۰۰ ppm در این رسوبات آغاز می‌گردد.<sup>(۱۷-۱۹)</sup> حد فاصل ۸۹ تا ۱۰۰ ppm به‌عنوان آنومالی احتمالی در منطقه مورد نظر قرار می‌گیرد (خط نارنجی). خط سبز که حدفاصل ۵۳ تا ۸۹ ppm است موسوم به آنومالی ممکن می‌باشد. به‌طور کلی در این منطقه برای عنصر مس شش جامعه مورد شناسایی قرار گرفتند که دو جامعه سمت راست مشخص شده با خطوط قرمز و نارنجی به‌عنوان جوامع آنومال مورد شناسایی واقع شدند. براساس نقشه تهیه شده سه آنومالی ممکن، احتمالی و قطعی بخش قابل توجهی از محدوده را پوشانده و آنومالی قطعی و احتمالی در بخش مرکزی و جنوب شرقی محدوده قرار دارند که مهم ترین آن‌ها در بخش مرکزی واقع است (نمودار ۸).



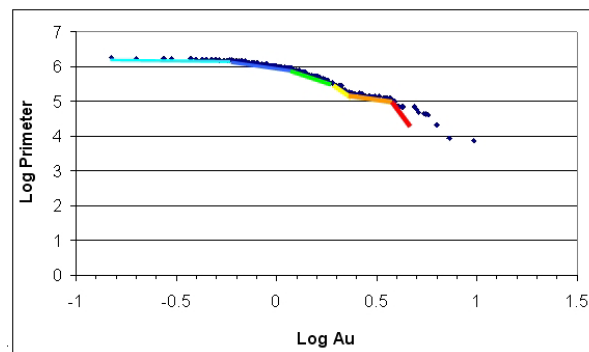
نمودار ۷- نمودار لگاریتمی عیار-محیط برای عنصر مس



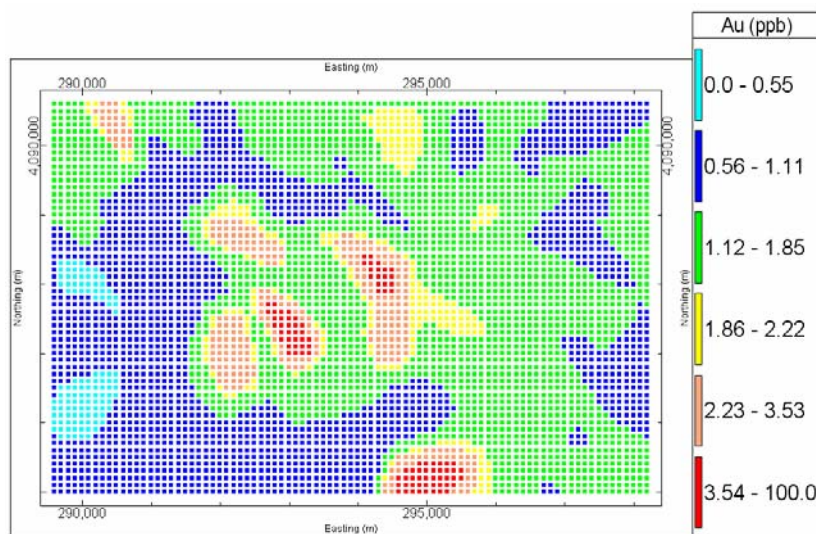
نمودار ۸- نقشه توزیع جوامع ژئوشیمیایی مس در محدوده اکتشافی

### طلا

نمودار طلا نیز مشابه نمودار مس می باشد و شش جامعه مجزا از نظر ژئوشیمیایی را نمایش می دهد که این نیز نشانگر وجود دو کانی زایی اصلی و فرعی طلا در محدوده زاجکان است (نمودار ۹). جامعه زمینه سومین جامعه است که عیار  $1/86$  ppb حد آستانه ای طلا در پایان این محدوده می باشد (آخر خط سبز). حد آنومالی قطعی طلا در عیار  $3/54$  ppb است که با توجه به شیب تند خط برازش شده، از این میزان به بالا آنومالی قطعی را نشان می دهد (خط قرمز).<sup>(۱۷-۱۹)</sup> همچنین مقدار عیار برابر  $2/2$  ppb حد آنومالی احتمالی طلا در این محدوده می باشد (آغاز خط نارنجی). بین دو مقدار  $2/2$  و  $3/54$  ppb محدوده آنومالی احتمالی است که با رنگ نارنجی مشخص است. همچنین محدوده آنومالی ممکن در حدفاصل دو عیار  $1/86$  و  $2/2$  ppb قرارداد. نقشه توزیع طلا در محدوده مورد مطالعه نشانگر وجود آنومالی های طلا در بخش مرکزی، شمال غربی و جنوب شرقی محدوده است که بیشتر آنومالی های قطعی در بخش مرکزی قراردادند (نمودار ۱۰). مهم ترین محدوده آنومالی طلا در بخش مرکزی قرار گرفته است که منطبق بر مهم ترین محدوده آنومالی مس است. ضمن این که یک آنومالی احتمالی از طلا در شمال محدوده قرار گرفته است (نمودار ۱۰).



نمودار ۹- نمودار لگاریتمی عیار-محیط برای عنصر طلا

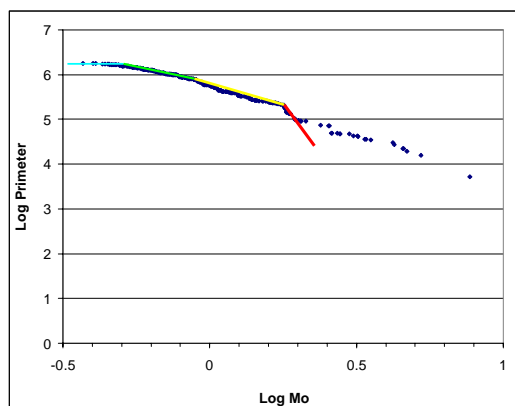


نمودار ۱۰- نقشه توزیع جوامع ژئوشیمیایی طلا در محدوده اکتشافی زاجکان

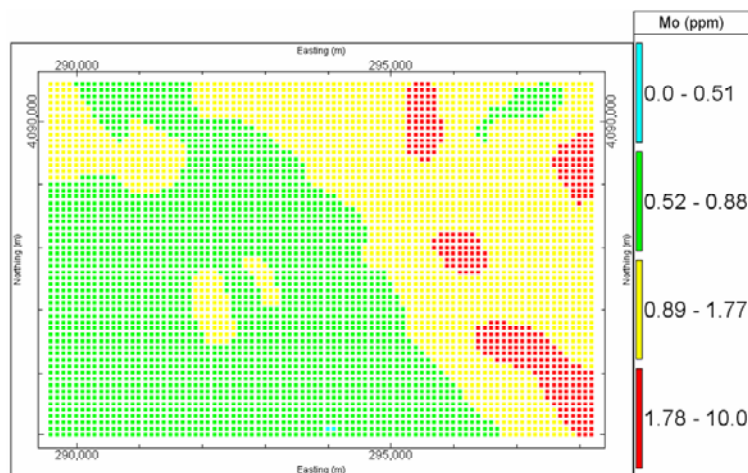
### مولیدن

اما نمودار مولیدن برخلاف دو عنصر قبلی ۴ جامعه مجزا را نشان می‌دهد (نمودار ۱۱). می‌توان گفت که مولیدن در دو جامعه کم‌عیار در سمت چپ (خطوط آبی و سبز) ناشی از یک کانی‌زایی فرعی و در دو جامعه پرعیارتر ناشی از یک کانی‌زایی اصلی در سمت راست ایجاد شده‌است یعنی به عبارتی حد آستانه‌ای مولیدن برابر  $0.89$  ppm است نه  $0.52$  ppm. حد آنومالی قطعی در این منطقه براساس این نمودار برابر  $1.78$  ppm است که با خط قرمز مشخص شده‌است (نمودار ۱۱). از حد فاصل  $0.89$  تا  $1.77$  ppm آنومالی احتمالی است (خط زرد). بر اساس نقشه توزیع جوامع ژئوشیمیایی مولیدن در محدوده اکتشافی زاجکان، بخش‌های آنومالی قطعی مولیدن در شرق و شمال محدوده به‌خصوص در جنوب‌شرقی (منطبق بر یکی از محدوده‌های آنومالی مس) قراردارند. این بخش درست منطبق بر آنومالی‌های مس در جنوب‌شرقی

محدوده قرار دارد (نمودار ۱۲). نیمه شرقی محدوده را آنومالی احتمالی مولیبدن همراه با آنومالی قطعی این عنصر می پوشاند (نمودار ۱۲).



نمودار ۱۱- نمودار لگاریتمی عیار-محیط برای عنصر مولیبدن

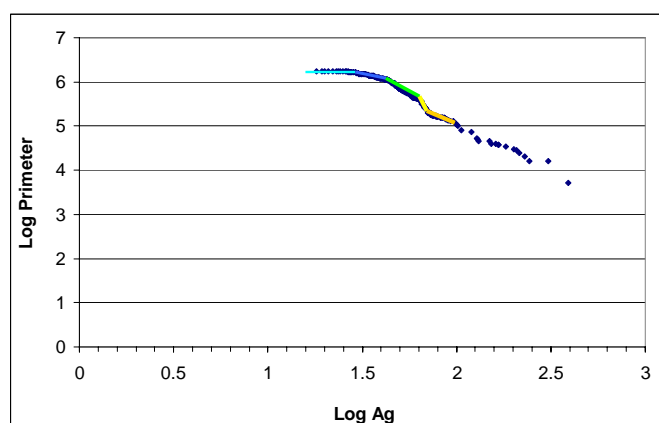


نمودار ۱۲- نقشه توزیع جوامع ژئوشیمیایی مولیبدن در محدوده اکتشافی زاجکان

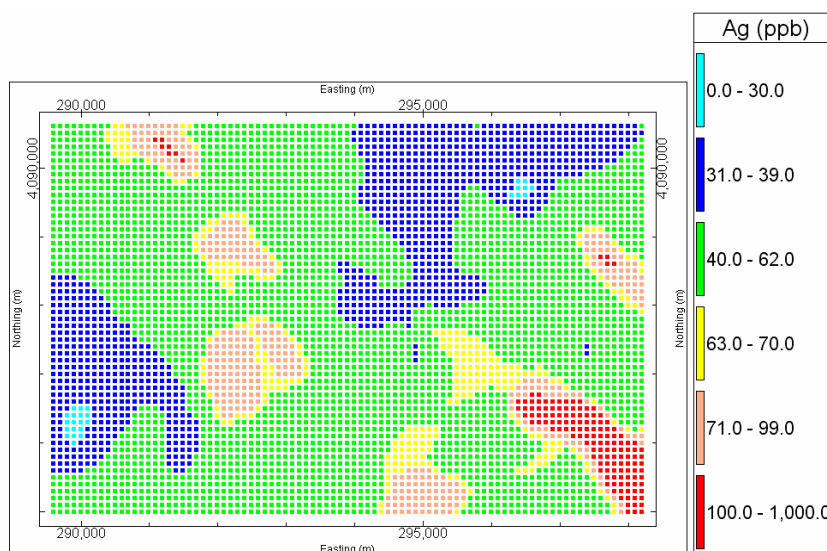
### نقره

نمودار لگاریتمی عیار-محیط برای عنصر نقره جوامع زیادی را به تفکیک نشان می دهد (نمودار ۱۳). در این جا نیز مانند مس و طلا می توان گفت که نقره در طی دو مرحله کانی زایی فرعی (سه جامعه سمت چپ) و اصلی (سه جامعه سمت راست) شکل گرفته است. می توان گفت که دو جامعه سمت راست که با خطوط زرد و قرمز مشخص شده اند جوامع آنومال نقره در منطقه هستند. آغاز زمینه در جامعه پرعیار برابر ۶۳ ppm (آغاز خط زرد)، حد آنومالی احتمالی برابر ۷۰/۷۹ ppm و حد آنومالی قطعی برابر ۱۰۰ ppm است. جامعه زمینه (خط زرد) بخش پرعیار نقره از ۶۳ تا ۷۰/۷۹ ppm، جامعه آنومالی احتمالی از ۷۰/۷۹ تا ۱۰۰ ppm (خط نارنجی) و آنومالی قطعی مقادیر بیشتر از ۱۰۰ ppm (خط قرمز) می باشد (نمودار ۱۳). همان گونه که در نقشه توزیع عنصر نقره در محدوده مورد مطالعه مشخص شده است، مهم ترین آنومالی

قطعی نقره در جنوب شرقی درست منطبق بر آنومالی های قطعی و ممکن مس و آنومالی های قطعی و احتمالی مولیبدن در جنوب شرقی محدوده قرار دارد (نمودار ۱۴). ضمن این که دو محدوده کوچک آنومالی قطعی نقره در شرق و شمال غربی محدوده به ترتیب منطبق بر آنومالی های مولیبدن و طلا دیده می شود. جالب این که مهم ترین محدوده های آنومالی مس و طلا در بخش مرکزی منطبق بر مهمترین بخش آنومالی احتمالی نقره می باشد. دیگر آنومالی احتمالی مهم نقره در بخش جنوبی محدوده بر آنومالی قطعی و احتمالی طلا منطبق است (نمودار ۱۴).



نمودار ۱۳- نمودار لگاریتمی عیار-محیط برای عنصر نقره

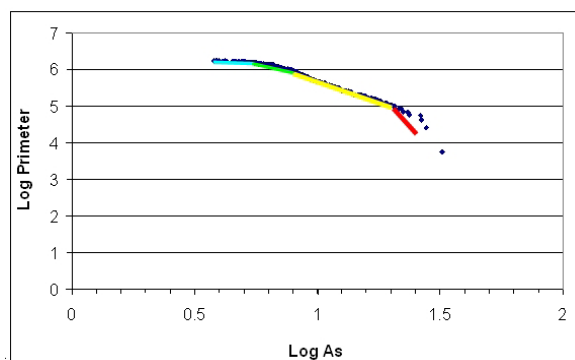


نمودار ۱۴- نقشه توزیع جوامع ژئوشیمیایی نقره در محدوده اکتشافی زاجکان

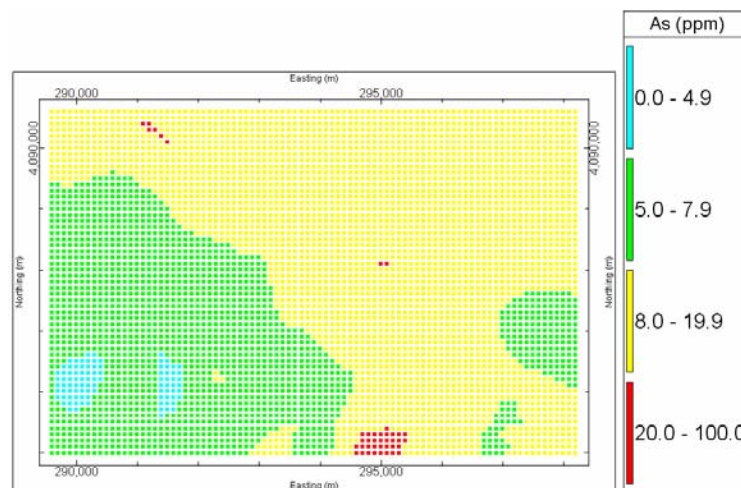
### آرسنیک

در نمودار عیار-محیط برای عنصر آرسنیک ۴ جامعه مجزا دیده می شود (نمودار ۱۵). حد آستانه ای عنصر آرسنیک در محدوده زاجکان برابر ۵ ppm، حد آنومالی احتمالی برابر ۸ ppm و حد آنومالی قطعی برابر ۲۰ ppm است. جامعه زمینه کمتر از ۵ ppm (خط آبی)، جامعه آنومالی ممکن به رنگ سبز، جامعه

آنومالی احتمالی به رنگ زرد و آنومالی قطعی به رنگ قرمز مشخص شده‌اند. بر اساس نقشه توزیع جوامع ژئوشیمیایی آرسنیک در محدوده اکتشافی زاجکان، آنومالی قطعی آرسنیک در بخش جنوبی بر آنومالی قطعی و احتمالی طلا و نیز آنومالی احتمالی نقره در بخش جنوبی محدوده منطبق است (نمودار ۱۶). همچنین یک آنومالی کوچک آرسنیک در شمال غربی در انطباق با آنومالی احتمالی طلا در شمال غربی محدوده دیده می‌شود. یک آنومالی قطعی بسیار کوچک آرسنیک نیز در مرکز محدوده مشاهده می‌گردد (نمودار ۱۶).



نمودار ۱۵- نمودار لگاریتمی عیار-محیط برای عنصر آرسنیک



نمودار ۱۶- نقشه توزیع جوامع ژئوشیمیایی آرسنیک در محدوده اکتشافی زاجکان

### مقایسه با نتایج حاصل از روش فرکتالی عیار- محیط با آمار کلاسیک

در این بخش از نتایج آمار تک‌متغیره و دو متغیره و به‌خصوص از ضرایب نمودارهای همبستگی دوگانه عناصر برای پی‌بردن بیشتر به رابطه عناصر با یکدیگر استفاده شده و نتایج آن‌ها با روش فرکتالی عیار-محیط مقایسه شده است. براساس مطالعات آمار تک‌متغیره مشخص شده است که عناصر در محدوده دارای توزیع غیرنرمال هستند و روش‌های فرکتالی چون حساسیتی به این امر ندارند در این زمینه بهترین هستند. مقایسه بین حدود زمینه به دست آمده از روش آمار کلاسیک تک‌متغیره در مقایسه با روش

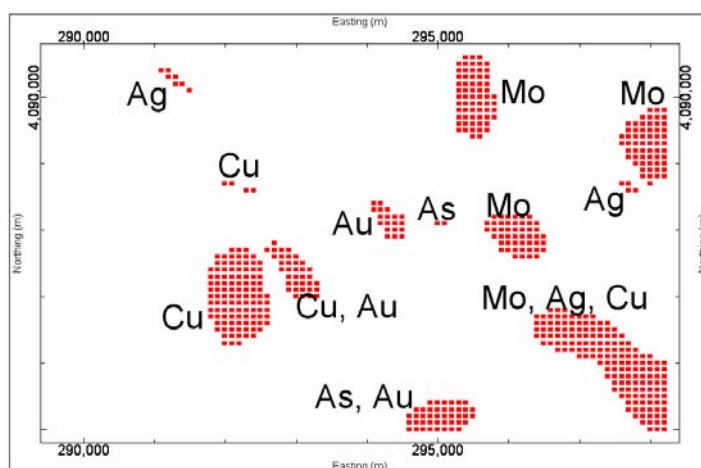


فرکتالی عیار-محیط نشانگر این است که تنها در دو عنصر مس و طلا این حدود به هم نزدیک هستند و برای عناصر دیگر به خصوص آرسنیک این حدود تفاوت به نسبت زیادی دارند (جدول ۳).

نتایج این مطالعات به خصوص در نقشه‌های ترسیم شده در مقایسه با نتایج ضرایب و نمودارهای همبستگی نیز جالب است. عنصر آرسنیک دارای بالاترین همبستگی با طلا و در حدود ۰/۵ است و آنومالی آن با طلا و بعد از آن با نقره منطبق است. همچنین در مورد مس با مولیبدن که اگرچه همبستگی مثبت دارند، ولی مقدار این همبستگی زیاد نیست و این خود را در نقشه جوامع ژئوشیمیایی این دو نشان می‌دهد، به طوری که تنها در جنوب شرقی آنومالی قطعی ایندو عنصر برهم منطبق است (نمودار ۱۷). به عبارتی نتایج حاصل از آمار دومتغیره نمایانگر صحت نتایج حاصل از روش فرکتالی می‌باشد.

جدول ۳- مقایسه بین حدود زمینه ناشی از روش فرکتالی عیار-محیط و آمار کلاسیک

| نام عنصر                               | مس (ppm.) | طلا (ppb.) | مولیبدن (ppm.) | نقره (ppb.) | آرسنیک (ppm.) |
|--|-----------|------------|----------------|-------------|---------------|
| حد زمینه ناشی از آمار کلاسیک           | ۴۲/۴۶     | ۱/۲        | ۰/۷۹           | ۴۸/۵        | ۱۵/۴۱         |
| حد زمینه ناشی از روش فرکتالی عیار-محیط | ۵۳        | ۱/۸۶       | ۰/۸۹           | ۶۳          | ۵             |



نمودار ۱۷- نقشه توزیع آنومالی‌های قطعی عناصر منتخب در محدوده زاجکان

## نتیجه گیری

بدون تردید روش‌های مبتنی بر هندسه فرکتال از بهترین و کاربردی‌ترین روش‌ها جهت مطالعه بر چگونگی توزیع جوامع ژئوشیمیایی در مطالعات زمین‌شناسی و اکتشافی می‌باشند. نتایج استفاده از روش فرکتالی عیار-محیط نشانگر این امر است که بیشتر آنومالی‌های قطعی عناصر منتخب در بخش‌های مرکزی و شرقی محدوده زاجکان قرار دارند. نقشه توزیع آنومالی‌های قطعی نشانگر این امر است که در جنوب شرقی محدوده آنومالی‌های قطعی مولیبدن، مس و نقره بر یکدیگر منطبق هستند و مکان مناسبی برای ادامه اکتشاف این عناصر در این محدوده است. هم چنین در بخش مرکزی محدوده مهم ترین آنومالی‌های قطعی طلا و مس دیده می‌شود که برای ادامه اکتشاف این عناصر در این محدوده می‌تواند مکان مناسبی باشد. ضمن این که یک محدوده امیدبخش برای طلا در بخش جنوبی در هم پوشانی با آنومالی شدید آرسنیک نیز قرار دارد. یک محدوده امیدبخش برای مولیبدن و نقره نیز در شمال غربی منطقه وجود دارد. ضمن این که بر اساس روش

فرکتالی مشخص شد که دو فاز کانی زایی مربوط به عناصر مس، طلا و نقره در منطقه مورد مطالعه وجود دارند که با توجه به وضعیت زمین شناسی و ماگماتیسیم منطقه چنین امری دور از ذهن نمی باشد. در مقایسه با آمار کلاسیک چون هندسه فرکتال هندسه طبیعت است، به طور خودکار داده های خارج از ردیف را حذف می کند و نیازی به هیچ گونه تغییر و تحول در داده ها نمی باشد. همچنین مطالعات آماری دومتغیره صحت و دقت روش فرکتالی عیار-محیط را بیش از پیش نمایان ساخته است.

#### سپاسگزاری

از کمک های آقایان مهندس یونس فداکار القلندیس و مهندس مانی پیروزبخت در بحث هندسه فرکتال سپاسگزاری نمایند.

#### References:

1. Mandelbrot, B.B., *The Fractal Geometry of Nature*, Freeman, Mandelbrot (1983).
2. Barabasi, A.L., Stanley, H.E., *Fractal Concepts in Surface Growth*, Cambridge University Press, England (1995).
3. Ebrahimi, N., *Msc Thesis: Economic Geology, Mineralogy and Geochemistry Studies on Zajkan Area Tarom - Zanjan*, Islamic Azad university, Science and Research Branch, Tehran (2008).
4. Davis John.C, *Statistics and Data Analysis in Geology*, John Wiley and Sons Inc., New York (2002).
5. Cheng, Q., *Math. Geo.*, **27**, 69 (1995).
6. Moon, Charles j., Whateley, Michael K.G., Evans, Anthony, M., *Introduction to Mineral Exploration*, Blackwell, Oxford (2006).
7. Cheng, Q., *J. Geochem. Explor.*, **65**, 194 (1999).
8. Carr. J.R., Benzer, W.B., *Math. Geo.*, **23**, 945 (1991).
9. Hawkes, H.E., Webb, J.S., *Geochemistry in Mineral Exploration*, Harper and Row, New York (1962).
10. Falconer, K.J., *Fractal Geometry: Mathematical Foundations and Applications*, John Wiley&Sons, Ltd., Chichester, UK (1990).
11. Hazen, S.W., *US Bur. Min.*, **621**, 223 (1967).
12. Cheng, Q., Agterberg, F.P., *J. Geochem. Explor.*, **51**, 130 (1994).
13. Goncalves, Mario A., Mateus, A., Oliveira, V., *J. Geochem. Explor.*, **72**, 114 (2001).
14. Changjiang, L., Tuhua, M., Junfa, Sh., *J. Geochem. Explor.*, **77**, 175 (2003).
15. Lima, A., De Vivo, B., Cicchella, D., Cortini, M., Albanese, S., *Appli. Geochem.*, **18**, 1865 (2003).
16. Xu, Y., Cheng, Q., *Geochem. Explor. Environ. Anal.*, **1**, 147 (2001).
17. Li, C., Zhao, N., Ma, T., *Math. Geo.*, **34**, 829 (2002).
18. Panahi, A., Cheng, Q., Bonham-Carter, G.F., *Explor. Environ. Anal.*, **4**, 70 (2004).
19. Cheng, Q., Agterberg, F.P., *Math. Geo.*, **28**, 16 (1996).