برآورد مناطق امید بخش جهت تهیه نقشه‌های ناهنجاری ژئوشیمایی مس و مولیبدن در منطقه پرکام، کرمان

سید سعید قنادپور[۱]، اردشیر هزارخانی [۲]*

۱- دانشجوی دکترای اکتشاف، دانشکده مهندسی معدن و متالورژی دانشگاه صنعتی امیرکبیر
۲- استاد دانشکده مهندسی معدن و متالورژی دانشگاه صنعتی امیرکبیر

پذیرش مقاله: ۱۳۹۳/۱۰/۲۰
تأیید نهایی مقاله: ۱۳۹۴/۲/۱۶

چکیده

به منظور جدایش مقادیر ناهنجار از مقادیر زمینه و برای جداسازی و تشخیص محدوده‌های ناهنجاری، روش‌های آماری مختلفی ارائه شده است. این روش‌ها از انواع ساده تا پیچیده تغییر می‌کنند و شامل روش‌های غیر ساختاری، روش‌های ساختاری و روش جداسازی تفریق و غیره می‌باشند. روش‌های ساختاری شامل روش‌هایی است که موقعیت نقاط نمونه‌برداری و ارتباط فضایی آنها را در تخمین مناطق ناهنجار در نظر می‌گیرد. روش آمارهٔ فضایی U از جمله مهمترین روش‌های ساختاری محسوب می‌شود که با در نظر گرفتن موقعیت فضایی نمونه‌ها و بدون قضاوت کارشناسی زمین‌شیمیست به تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها پرداخته و اقدام به جداسازی زیرجوامع و تشخیص مناطق ناهنجار می‌نماید. در این مطالعه به منظور برآورد مناطق امید بخش محدوده پرکام از روش برآورد حد آستانه‌ای، بر اساس میانه و انحراف معیار و انحراف مطلق میانه (MAD) به عنوان روش‌های غیرساختاری و روش آماره U به عنوان روش ساختاری استفاده شده است. نتایج حاصله نشان می‌دهد که روش MAD نسبت به روش برآورد حد آستانه‌ای، بر اساس میانه و انحراف معیار، حد زمینه را به خوبی کاهش داده اما پیوستگی نقاط را به میزان قابل توجهی افزایش نمی‌دهد. در صورتی که روش آماره U هر دو برتری مذکور را با دقت بیشتر ایفا می‌نماید. یعنی علاوه بر کاهش تأثیر داده‌های ناهماهنگ، به نمونه‌های ناهنجار نظم بسیار بیشتری بخشیده و پراکندگی آنها را به شکل چشمگیری مطابق با الگوی دگرسانی منطقه مورد مطالعه کاهش می‌دهد. به طوری که می‌توان با توجه به آنها (موقعیت قرارگیری نمونه‌های ناهنجار) محدوده‌ای که دارای چگالی بیشتری از نمونه‌های ناهنجار می‌باشد را به عنوان مناطق ناهنجاری تعیین نمود. در نهایت نیز به کمک روش آماره U نقشه زمین‌شیمی واحدهای سنگی منطقه در مورد عناصر مس و مولیبدن تهیه شده است.

واژه‌های کلیدی: پرکام، آماره U، MAD، نقشه ناهنجاری، مس و مولیبدن.

*- نویسنده مسئول: ۰۹۱۲۱۸۷۲۴۹۴ Email: ardehez@aut.ac.ir

مقدمه

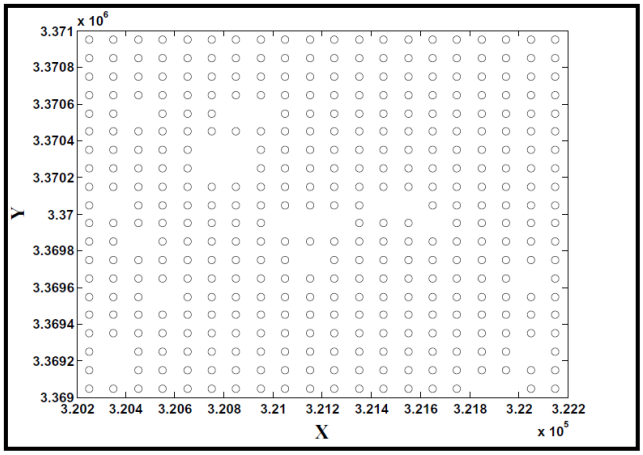
سیستم پورفیری پرکام (سارا) با مختصات جغرافیایی ″۵۴ ′۸ °۵۵ طول شرقی و ″۲۴ ′۲۶ °۳۰ عرض شمالی در ۵۰ کیلومتری شمال شهر بابک و در محدوده فلززایی کرمان قرار دارد. محدوده فلززایی کرمان که بخش جنوبی ایالت فلز-زایی ارومیه – دختر (سهند - بزمان) را تشکیل می‌دهد غنی‌ترین محدوده فلززایی مس در ایران به شمار می‌رود. در این محدوده با طول حدود ۴۵۰ کیلومتر و پهنای حدود ۸۰ کیلومتر بیش از ۲۰۰ کانسار و نشانه معدنی شناخته شده است که تعدادی از آنها از جمله ذخیره پرکام از نوع پورفیری است (قربانی، ۱۳۸۱). وجود منابع غنی مس در این محدوده (شرکت مهندسین مشاور کان ایران، ۱۳۸۸)، ضرورت یافتن اطلاعات دقیقی در مورد میانگین و واریانس عناصر مس و مولیبدن در مورد داده‌های حاصل از حفریات صورت گرفته و نمونه-برداری سطحی در منطقه، برای جدایش مقادیر ناهنجاری از زمینه، تخمین ارتباط فضایی ناهنجاری‌ها و تهیه نقشه‌های ناهنجاری، اهمیت می‌یابد. لذا به منظور جدایش ناهنجاری از زمینه و برای اینکه برآورد دقیق‌تری از میانگین جوامع داشته باشیم، ابتدا می‌بایست نوع جوامع آماری مورد مطالعه را مشخص نموده و سپس اقدام به محاسبه میانگین و واریانس و در نهایت جدایش مقادیر ناهنجار از زمینه نماییم (به عنوان مثال می-توان به مطالعات (قنادپور و هزارخانی، ۱۳۹۱؛ قنادپور و همکاران، ۲۰۱۳؛ قنادپور و هزارخانی، ۲۰۱۲ الف) که به تعیین نوع توزیع جوامع و محاسبه پارامترهای آماری پرداخته‌اند اشاره نمود). بدین منظور می‌توان از نرم‌افزارهای پیشنهاد شده در مطالعات (قنادپور و همکاران، ۲۰۱۲؛ قنادپور و هزارخانی، ۲۰۱۲ ب) جهت شناسایی نوع توزیع و هنجار سازی استفاده نمود. روش‌های آماری مختلفی برای جداسازی و تشخیص محدوده‌های ناهنجار از زمینه توسعه یافته و توسط محققین ارائه شده است (قنادپور و همکاران، ۱۳۹۲؛ سینکلر، ۱۹۹۱؛ چنگ ۱۹۹۷، ۱۹۹۹؛ حسنی پاک و شرف الدین، ۱۳۹۰). این روش‌ها از انواع ساده (بر اساس پارامترهای آماری توزیع) تا پیچیده (بر اساس ساختار فضایی داده‌ها) تغییر می‌کنند. گروه دوم شامل روش‌هایی است که موقعیت نقاط نمونه-برداری و ارتباط فضایی آنها را در تخمین مناطق ناهنجار در نظر می‌گیرد. بنابراین روش‌های جداسازی ناهنجاری از زمینه را می‌توان به دو گروه تقسیم کرد که شامل روش‌های غیر ساختاری و روش‌های ساختاری است. روش آماره فضایی U از جمله روش‌های ساختاری به حساب می‌آید. الگوریتم و ایده روش آمارهٔ فضایی U که در سال ۱۹۹۷ توسط چِنگ و همکاران برای اولین بار عنوان و مورد استفاده قرار گرفت. در واقع این روش به عنوان روش قوی در جدایش جامعه ناهنجاری از زمینه مطرح است نوعی روش میانگین‌گیری متحرک است، که در هر نقطه خاص ابعاد پنجره‌ای که در داخل آن میانگین‌گیری صورت می‌گیرد، تغییر داده می‌شود. بنابراین برای هر نقطه خاص تعدادی از مقادیر برای آمارهٔ U آن نقطه از روی نقاط اطراف آن محاسبه می‌شود. بدین ترتیب ارتباط فضایی نقاط در این روش کاملاً در نظر گرفته می‌شود (حسنی پاک و شرف الدین، ۱۳۹۰). این روش از جمله روش‌های جداسازی ناهنجاری از زمینه است که بر اساس مدل توزیع، بدون قضاوت کارشناسی ژئوشیمیست و با تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها اقدام به جداسازی زیرجوامع و تشخیص مناطق ناهنجار می‌پردازند (سینکلر، ۱۹۹۱؛ حسنی پاک و شرف الدین، ۱۳۹۰؛ چنگ، ۱۹۹۹). تنها عامل کنترل کننده دو نوع خطای e_1 و e_2 (خطاهای جداسازی ناهنجاری از زمینه) در این روش، تعداد

نمونه‌ها است. معمولاً با افزایش تعداد نمونه نتایج بهتری حاصل می‌شود (حسنی‌پاک و شرف‌الدین، ۱۳۹۰). کاربرد روش فوق را می‌توان در مطالعات (رحیمی نیارق و همکاران، ۱۳۸۸؛ قنادپور و همکاران، ۲۰۱۵) جهت جدایش ناهنجاری از زمینه در مورد عناصر مختلف مشاهده کرد.

روش پارامترهای آماری از جمله روش‌های سنتی و رایج به حساب می‌آید که به موقعیت قرارگیری نمونه‌ها توجهی ندارد و با در نظر گرفتن مقدار میانه و انحراف معیار، به جداسازی مقادیر ناهنجار از زمینه می‌پردازد (حسنی‌پاک و شرف‌الدین، ۱۳۹۰) که در واقع به شدت، تحت‌تأثیر مقادیر و داده‌های ناهماهنگ قرار می‌گیرد ولی روش انحراف مطلق میانه (MAD) که از دیگر ابزارهای جداسازی برای اندازه‌گیری تغییرات نمونه‌های تک متغیره در داده-های کمی محسوب می‌شود، مشکل مذکور را تا حدودی برطرف ساخته است. در این مطالعه روش برآورد حد آستانه‌ای بر اساس میانه و انحراف معیار و روش انحراف مطلق میانه (MAD) به عنوان روش‌های غیر ساختاری و روش آماره U به عنوان یک روش ساختاری بسیار مؤثر به منظور جدایش ناهنجاری از زمینه در مورد داده‌های حاصل از نمونه‌های سطحی محدوده پرکام مورد استفاده قرار گرفته‌اند. همان‌طور که می‌دانیم اکثر روش‌های آماری نیاز به هنجار بودن داده‌ها دارند (حسنی‌پاک و شرف‌الدین، ۱۳۹۰). شرط استفاده از روش‌های مذکور نیز هنجار بودن توزیع داده‌های مورد استفاده برای آنها می‌باشد. لذا در این مطالعه قبل از استفاده از روش‌های فوق با استفاده از برنامه‌های نوشته شده در مورد تعیین نوع توزیع و محاسبه-های پارامترهای اولیه آماری به هنجار سازی عیارها و سپس به جداسازی پرداخته می‌شود (قنادپور و همکاران، ۲۰۱۲؛ قنادپور و هزارخانی، ۲۰۱۲ ؛ قنادپور، ۱۳۹۲).

مواد و روش ها

نمونه‌برداری در محدوده سامانه پورفیری پرکام در یک شبکه منظم صورت گرفته است. شبکه نمونه برداری به صورت مربعی با ابعاد ۱۰۰ متر می‌باشد. تعداد نمونه‌ها ۳۷۷ عدد بوده و آنالیز توسط دستگاه پلاسمای جفت شده القایی (ICP) صورت گرفته و مقدار غلظت ۴۵ عنصر در این تجزیه و تحلیل گزارش شده است. موقعیت نمونه‌ها نسبت به یکدیگر به کمک نرم‌افزار متلب در شکل ۱ به نمایش در آورده شده است.



شکل ۱: موقعیت نمونه‌های سطحی برداشت شده در محدوده پرکام.

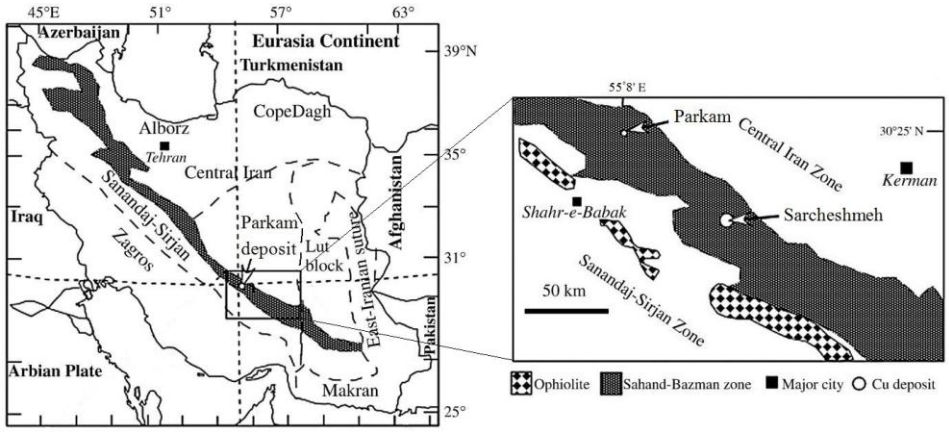
در این قسمت ابتدا نتایج حاصل از آنالیزهای شیمیایی را آماده پردازش نموده سپس به پردازش داده‌ها با روش‌های مختلف و تهیه نقشه‌های مناطق امیدبخش از منطقه پرداخته شده است. با استفاده از برنامه‌های پیشنهادی در مطالعات (قنادپور، ۱۳۹۲؛ قنادپور و همکاران، ۲۰۱۲؛ قنادپور و هزارخانی، ۲۰۱۲ ب) به تعیین نوع جوامع، هنجار سازی و در نهایت محاسبه پارامترهای اولیه آماری پرداخته شده است. پس از استفاده از برنامه‌های مذکور مشخص گردید که مس و مولیبدن دارای توزیع لاگ نرمال بوده و مشخصات آماری آنها در جدول ۲ آورده شده است (محاسبات در سطح اعتماد ۹۵ درصد انجام شده است). جدول ۱ نیز مشخصات عناصر قبل لگاریتم گیری را نشان می‌دهد. بعد از آماده سازی داده‌ها در این قسمت، در ادامه به جداسازی مقادیر ناهنجاری به کمک ۳ روش حدآستانه‌ای بر اساس میانه و انحراف معیار، MAD و آماره U پرداخته خواهد شد.

جدول ۱: مشخصات عناصر قبل از لگاریتم‌گیری.

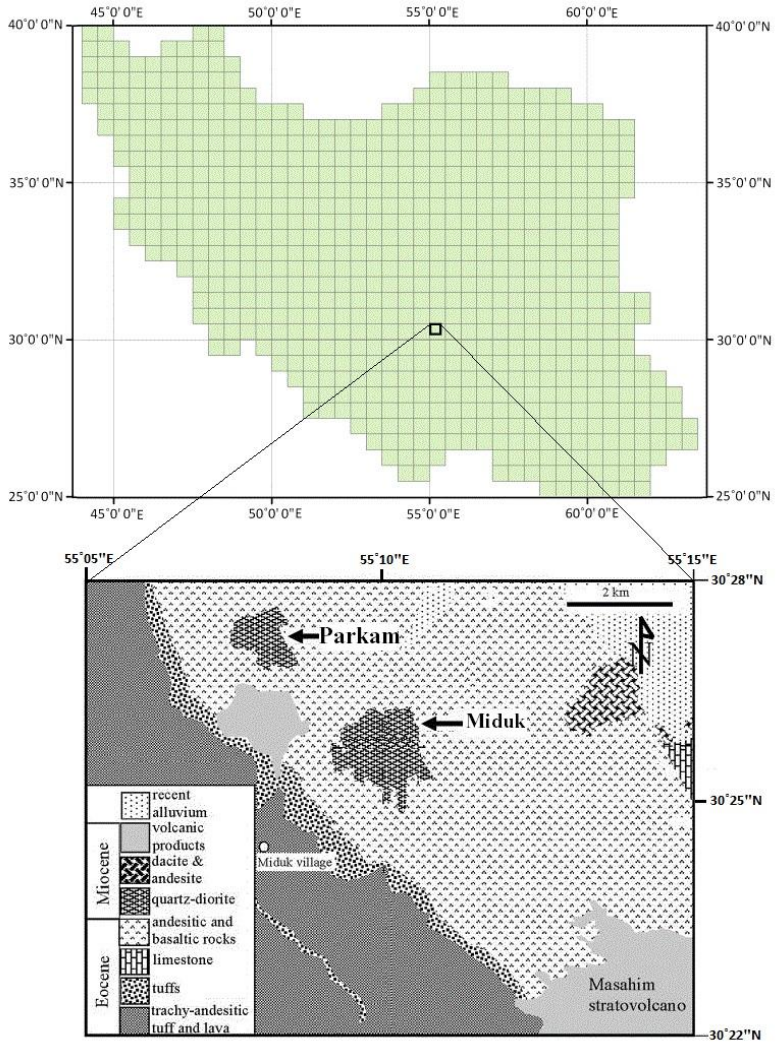
عنصر	میانگین عیار (ppm)	واریانس عیار $(ppm)^2$	بیش‌ترین عیار (ppm)	کم‌ترین عیار (ppm)	شاخص W
مس	۲۸۹	۶۵۲۷۴۰	۹۴۷۰	۲/۰۰	۸۳/۸۴
مولیبدن	۵	۷۲/۴	۸۴/۸	۲/۰۰	۳۸/۲۲

جدول ۲: مشخصات عناصر در توزیع لگاریتمی.

عنصر	نوع توزیع لگاریتمی	ثابت افزودنی	میانگین لگاریتمی	میانگین واقعی	واریانس لگاریتمی	واریانس واقعی	شاخص W
مس	دو متغیره	۰	۴/۶۷	۲۶۷	۱/۸	۳۷۵۴۷۰	۱/۰۲
مولیبدن	دو متغیره	۰	۰/۸۷	۴/۸	۱/۴	۶۷/۹	۰/۸۲



شکل ۲: نقشه زون‌های زمین ساختاری ایران که موقعیت سامانه پورفیری پرکام و کانسار سرچشمه در آن بزرگنمایی شده است. بخش هاشور خورده نوار سهند- بزمان را نشان می‌دهد (بربریان و کینگ، ۱۹۸۱).



شکل ۳: قسمتی از نقشه زمین‌شناسی ناحیه‌ای شهر بابک (ساریک و همکاران، ۱۹۷۱).

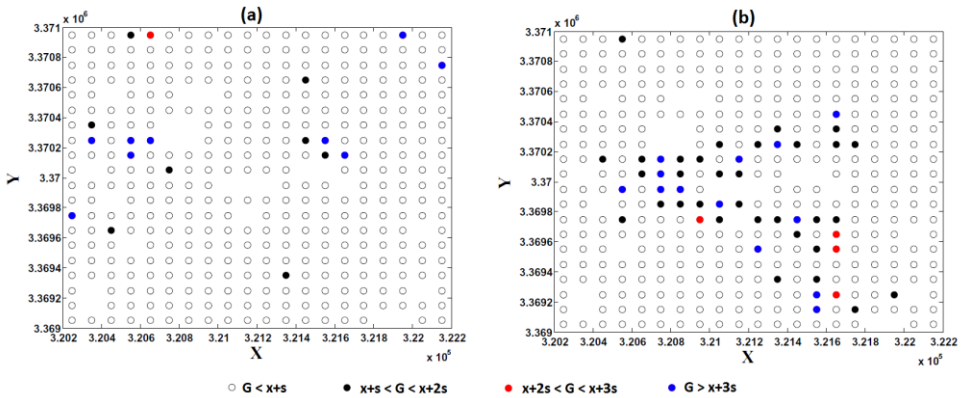
نتایج

زمین شناسی محدوده پرکام: ذخیره پورفیری پرکام واقع در ۲ کیلومتری معدن مس پورفیری میدوک در نقشه‌های زمین شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ انار و ۱:۱۰۰۰۰۰ شهر بابک قرار دارد. این محدوده بخشی از زون ارومیه – دختر (سهند – بزمان) است (شکل ۲). واحدهای سنگی در برگیرنده در محدوده مورد مطالعه عمدتاً شامل مجموعه رسوبی – آتشفشانی ائوسن می‌باشد که میزبان توده‌های ساب ولکانیک و کانی سازی پورفیری است. در این ناحیه مجموعه سنگ‌های آتشفشانی، توف و آذر آواری دارای ترکیب آندزیت بازالت و آندزیت هستند که گاه لایه‌بندی دارند. توده‌های نفوذی ساب ولکانیک منطقه شامل دیوریت و میکروکوارتزدیوریت پورفیری می‌باشد (شکل ۳) که با سامانه دگرسانی و کانی سازی ارتباط نشان می‌دهند (کاظمی، ۱۳۸۹) این واحدهای سنگی توسط دایک‌هایی از نوع دیوریت قطع شده‌اند. دگرسانی در محدوده پرکام نسبتاً شدید است و شامل پتاسیک، فیلیک، آرژیلیک و پروپلیتیک می‌باشد. واحدهای زمین‌شناسی موجود در این محدوده به طور مفصل در مطالعه قنادپور و هزارخانی (۱۳۹۱) مورد بررسی قرار گرفته است. دگرسانی در محدوده پرکام گسترده و شامل

پروپلیتیک، فیلیک، آرژیلیک و انواع پتاسیک از نظر وسعت می‌باشد. دگرسانی فیلیک تشکیل‌دهنده قسمت مرکزی سامانه پرکام است که با دگرسانی پتاسیک در شرق و غرب محدوده مورد مطالعه و دگرسانی آرژیلیک در جنوب محدوده در ارتباط می‌باشد. دگرسانی پروپلیتیک نیز احاطه کننده دگرسانی‌های مذکور می‌باشد. در محدوده مورد مطالعه کانی‌سازی به صورت مالاکیت گسترش قابل ملاحظه‌ای دارد ولی آغشتگی توسط مالاکیت گاه بصورت اغوا کننده می‌باشد. این بدان معنی است که اگرچه گسترش مالاکیت زیاد است ولی کانی-سازی عیار بالا نبوده و بخش عمده مالاکیت بصورت پرکننده درز و شکاف‌ها می‌باشد. پیریت مهمترین کانی سولفیدی است که در حال حاضر در سطح بصورت اکسیدی یافت می‌شود. چرخش آب‌های سطحی و سوپرژن باعث گسترش مالاکیت در درز و شکاف‌ها شده است. کانی‌سازی عمدتاً در بخش دگرسانی میانی و در شمال خاوری دره پرکام در منطقه دگرسانی فیلیک مشاهده می‌شود ولی گاه در درز و شکاف‌های مناطق مختلف دیده می‌شود. در درز و شکاف‌های منطقه پروپلیتیک که عمدتاً آندزیت می‌باشد نیز مالاکیت گسترش دارد ولی اهمیت اقتصادی چندانی ندارد. در مطالعه دیگری (قنادپور و همکاران، ۲۰۱۵) نیز به مقایسه این سامانه با دیگر کانسارهای ایران مانند سرچشمه، میدوک و سونگون و حتی کانسارهای مس پورفیری جهان مانند کانسارهای شمال شیلی و فیلیپین پرداخته شده است.

پردازش داده‌ها

برآورد حد آستانه‌ای بر اساس میانه و انحراف معیار: از مقادیر زمینه برای تشخیص حد آستانه استفاده می‌شود. مهمترین مسئله در تعیین مقدار زمینه و حدآستانه محلی و ناحیه‌ای که سرانجام می‌تواند به تعیین ناهنجاری‌های ممکن و محتمل یک سری از داده‌های ژئوشیمیایی ختم شود، تعیین انحراف معیار است. در برداشت‌های اکتشافی، هدف یافتن ناهنجاری است، در برداشت‌های ژئوشیمیایی معمولاً $\bar{x}+2s$ برای تعیین حدآستانه‌ای انتخاب می‌کنند. به عبارت دیگر مقادیر بزرگتر از $\bar{x}+2s$ به عنوان ناهنجاری مورد توجه قرار می‌گیرند. طبق نظریه هاکس و وب مقادیر بین $\bar{x}+2s$ و $\bar{x}+3s$ می‌توانند به عنوان ناهنجاری‌های ممکن و مقادیر بزرگتر از $\bar{x}+3s$ می‌توانند به عنوان ناهنجاری احتمالی در نظر گرفته شوند. در شکل ۴ ناهنجاری ممکن عناصر مس و مولیبدن با استفاده از روش پارامترهای آماری نمایش داده شده است (حسنی‌پاک و شرف‌الدین، ۱۳۹۰).



شکل ۴: نمایش حد آستانه، ناهنجاری ممکن و احتمالی عناصر مس (a) و مولیبدن (b) بر اساس میانه و انحراف معیار.

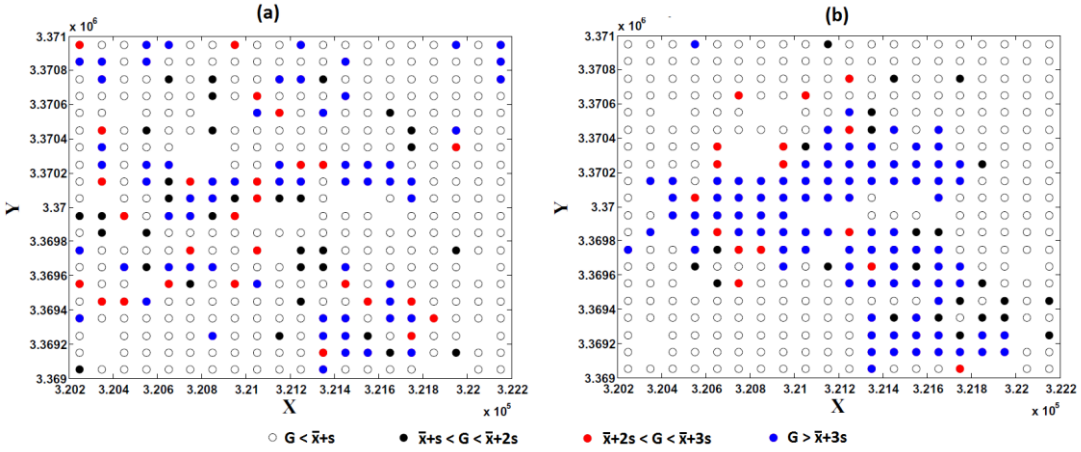
جدایش مقادیر ناهنجار به روش MAD (Median Absolute Deviation)

یکی از ابزارهای بسیار مناسب برای اندازه‌گیری تغییرات نمونه‌های تک متغیره در داده‌های کمی، روش انحراف معیار مطلق یا همان MAD می‌باشد. مقدار MAD را می‌توان از رابطه ۱ محاسبه نمود:

رابطه ۱)

$$MAD = median_i(|x_i - median_j(x_i)|)$$

که در آن x_i مقدار هر داده، $median_i$ میانه جدید و $median_j$ مقدار میانه داده‌های اولیه می‌باشد. داده‌های بدست آمده در این روش از اختلاف مقدار هر داده با میانه جدید داده‌ها می‌باشد. مقادیر ناهنجار تعیین شده برای عناصر مس و مولیبدن توسط روش فوق در شکل ۵ به نمایش در آورده شده است.



شکل ۵: نمایش حد آستانه، ناهنجاری ممکن و احتمالی عناصر مس (**a**) و مولیبدن (**b**) به کمک روش **MAD**.

استفاده از رابطه فوق تأثیر مطلوبی در توزیع داده‌ها را به ارمغان می‌آورد و همچنین انعطاف پذیری کمتری نسبت به روش برآورد حد آستانه‌ای بر اساس میانه و انحراف معیار را در مورد داده‌های ناهماهنگ از خود نشان می‌دهد. در واقع در روش قبلی مقدار انحراف استاندارد به شدت تحت تأثیر داده‌های ناهماهنگ قرار می‌گیرد در صورتی که مقدار median+(n)*MAD کمتر تحت‌تأثیر قرار گرفته و همان‌طور که در شکل ۵ هم مشاهده می‌شود مقدار حد زمینه کاهش یافته است.

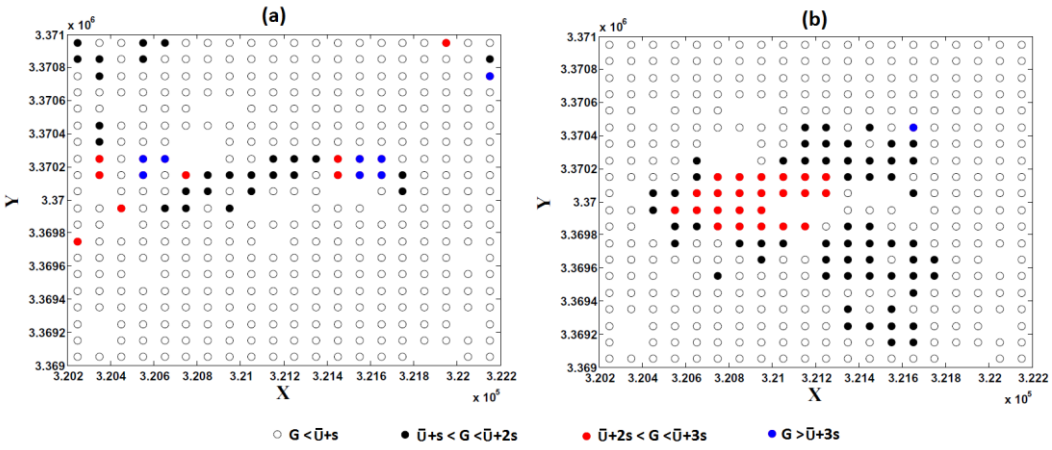
جدایش مقادیر ناهنجار با استفاده از روش آماره U: این روش به عنوان روش قوی در جدایش جامعه ناهنجاری از زمینه مطرح است. این روش نوعی روش میانگین متحرک است، با این ویژگی که در هر نقطه خاص ابعاد پنجره‌ای که در داخل آن میانگین‌گیری صورت می‌گیرد، تغییر داده می‌شود. بنابراین برای هر نقطه خاص تعدادی از مقادیر برای آماره U آن نقطه از روی نقاط اطراف آن محاسبه می‌شود. به این صورت که در ابتدا یک معیار فاصله به منظور تعیین دوری و نزدیکی نمونه تعیین می‌گردد. آنگاه به واسطه آن وزن خاصی به هر نمونه اختصاص داده شده و سپس مقدار میانگین وزن‌دار نقاط واقع در محدوده جستجو، برای هر نمونه تعیین و پراکندگی آنها محاسبه می‌شود. در نهایت نیز به کمک رابطه ۲ مقدار U محاسبه می‌گردد (حسنی‌پاک و شرف‌الدین، ۱۳۹۰؛ چنگ، ۱۹۹۹).

رابطه ۲)

$$U_i(r) = \frac{\bar{x}_i(r) - \mu}{\sigma}$$

که در آن μ میانگین، r شعاع همسایگی، $x_i(r)$ مقدار میانگین وزن‌دار نمونه i ام و σ انحراف معیار کل داده‌ها می‌باشد. مقدار $U_i(r)$ تابعی از r است یعنی

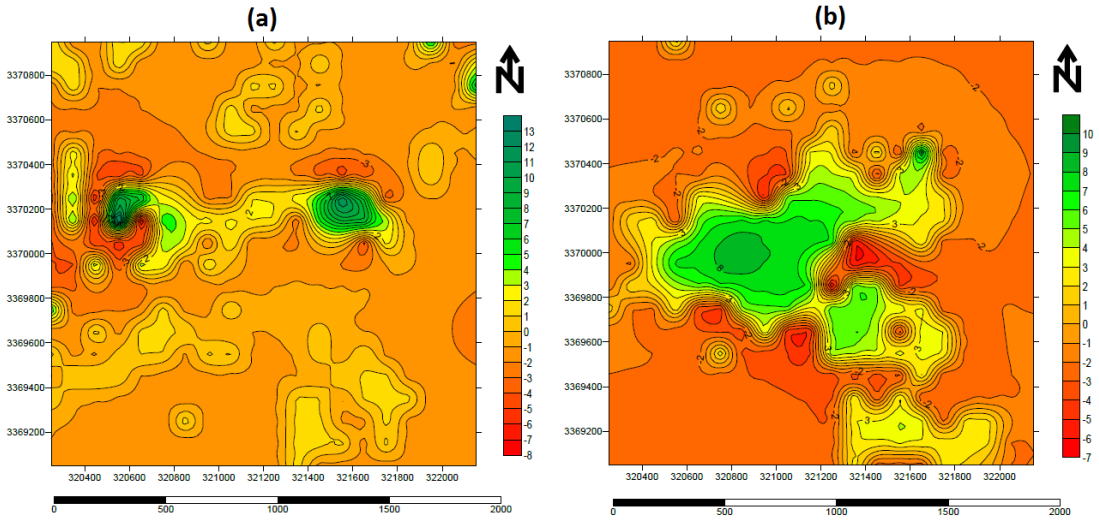
با تغییر r مقادیر مختلفی برای U_i بدست می‌آید. به ازای هر r تعدادی از نمونه‌های اطراف در محاسبه مقدار U نقطه مجهول شرکت می‌کنند. در نتیجه U های مختلفی برای نقطه مجهول بدست می‌آید که بیشترین مقدار آنها به نمونه اختصاص داده می‌شود (حسنی‌پاک و شرف‌الدین، ۱۳۹۰؛ چنگ، ۱۹۹۹). حال به منظور استفاده از روش آماره U شعاع مورد نظر ۶۰ متر در نظر گرفته شده است. بعد از محاسبه مقدار U برای هر نقطه نمونه‌برداری شده، جهت تعیین مقدار زمینه و حدآستانه محلی و ناحیه‌ای به کمک این روش با همسایگی دایره‌ای شکل به ترتیب از حدود آستانه‌ای $\overline{U}+s$ ، $\overline{U}+2s$ و $\overline{U}+3s$ استفاده می‌کنیم. حال به منظور نمایش مقدار زمینه و حدآستانه محلی و ناحیه‌ای که سرانجام می‌تواند به تعیین ناهنجاری‌های ممکن و محتمل یک سری از داده‌های ژئوشیمیایی ختم شود، از معیارهای $\overline{U}+s$ ، $\overline{U}+2s$ و $\overline{U}+3s$ استفاده شده است و نمونه‌های ناهنجار بدست آمده از این روش برای دو عنصر مس و مولیبدن در شکل ۶ قابل مشاهده می‌باشد.



شکل ۶: مقادیر جدا شده به روش **U** با معیارهای متفاوت جهت تعیین حد آستانه، ناهنجاری ممکن و احتمالی (مس (**a**) و مولیبدن (**b**)).

در تصاویر فوق به خوبی مشاهده می‌شود که حد زمینه به خصوص در مورد عنصر مس به شدت کاهش یافته و همچنین نمونه‌های تعیین شده به عنوان نمونه‌های ناهنجار، نسبت به روش‌های قبلی دارای نظم بیشتر و پراکندگی بسیار کمتری می‌باشند و می‌توان با توجه به آنها (موقعیت قرارگیری نمونه‌های ناهنجار) محدوده‌ای که دارای چگالی بیشتری از نمونه‌های ناهنجار می‌باشد را به عنوان مناطق ناهنجاری تعیین نمود (همان‌طور که در تصویر نیز واضح است نظم و پیوستگی مقادیر ناهنجار عنصر مس در این روش بسیار افزایش یافته است).

همان‌طور که مشاهده گردید، این روش با در نظر گرفتن نقاط اطراف و کاهش تأثیر نقاط ناهماهنگ در انحراف معیار نسبت به روش‌های دیگر، بسیار مؤثر واقع شده و نتایج بسیار مطلوبی را نسبت به روش‌های دیگر به ارمغان آورده است. لذا به منظور تهیه نقشه‌ای دقیق و کامل از مناطق امید بخش منطقه از نتایج روش فوق استفاده شده و نتیجه حاصل از آن در شکل ۷ به عنوان نقشه مناطق امید بخش محدوده پرکام برای دو عنصر مس و مولیبدن قابل مشاهده است.



شکل ۷: نقشه مناطق امید بخش منطقه به کمک روش آماره U. **a**) مس و **b**) مولیبدن.

نتیجه‌گیری

همان‌طور که گفته شد روش‌های مختلفی برای جداسازی ناهنجاری از زمینه توسط محققین مختلف بیان شده است که همه این روش‌ها یک هدف کلی را دنبال می‌کند و آن کم کردن خطاهای جداسازی ناهنجاری از زمینه می‌باشد. روش آماره فضایی U، از جمله این روش‌هاست که موقعیت فضایی نمونه‌ها را در نظر می‌گیرد. این روش یک نوع میانگین وزن‌دار است که نقاط اطراف نمونه‌ها را در محاسبه مقدار U، در نظر می‌گیرد و با افزایش تعداد نمونه‌ها خطای مذکور کمتر می‌شود. با اعمال این روش به عنوان روشی ساختاری و روش برآورد حد آستانه‌ای، بر اساس میانه و انحراف معیار و روش انحراف مطلق میانه (MAD) به عنوان روش‌های غیرساختاری در منطقه مورد مطالعه برای دو عنصر مس و مولیبدن، نمونه‌های ناهنجار مشخص گردید. با توجه به نتایج حاصله مشاهده می‌شود، در روش MAD با توجه به کاهش تأثیر داده‌های ناهماهنگ، حد زمینه نسبت به روش پارامترهای اولیه آماری کاهش یافته است ولی نظم نقاط به میزان قابل توجهی افزایش نیافته و نقاط نسبتاً دارای پراکندگی می‌باشند. در نهایت نیز مشاهده گردید که روش مؤثر و کارآمد U هر دو برتری مذکور را به صورت همزمان ایفا می‌نماید، یعنی علاوه بر کاهش تأثیر داده‌های ناهماهنگ، به نمونه‌های ناهنجار نظم بسیار بیشتری بخشیده و پراکندگی آنها را به شکل چشمگیری مطابق با الگوی دگرسانی منطقه مورد مطالعه کاهش می‌دهد (به خصوص در مورد عنصر مس که روش‌های دیگر در مورد آن نتایج ضعیفی داشتند). به طوری که می‌توان با توجه به آنها (موقعیت قرارگیری نمونه‌های ناهنجار) محدوده‌ای که دارای چگالی بیشتری از نمونه‌های ناهنجار می‌باشد را به عنوان مناطق ناهنجاری تعیین نمود. در نهایت نیز به کمک روش آماره U نقشه زمین‌شیمی واحدهای سنگی منطقه در مورد عناصر مس و مولیبدن تهیه گردید.

منابع

-حسنی‌پاک، ع. ا. و شرف‌الدین، م.، ۱۳۹۰. تجزیه و تحلیل داده‌های اکتشافی، انتشارات دانشگاه تهران، تهران، ویرایش دوم، ۹۹۶ ص.

- سیدرحیمی‌نیارق، م. م.، قوامی‌ریابی، ر.، خالو-کاکائی، ر. و هزاره، م. ر.، ۱۳۸۸. به کارگیری روش آماره فضایی U جهت جداسازی مناطق آنومال طلا در منطقه کردستان، بیست و هفتمین گردهمایی علوم زمین.

-شرکت مهندسین مشاور کان ایران، ۱۳۸۸. مطالعات زمین‌شناسی و آلتراسیون محدوده پرکام در مقیاس ۱:۵۰۰۰، ص ۲۱ -۶۰.

-قربانی، م.، ۱۳۸۱. زمین شناسی اقتصادی ذخایر معدنی و طبیعی ایران، انتشارات آرین زمین، تهران، ۵۲۲ ص.

-قنادپور، س.س.، ۱۳۹۲. مطالعات ژئوشیمیایی کانسار مس پورفیری پرکام – کرمان، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران.

-قنادپور، س.س. و هزارخانی، ا.، ۱۳۹۱. بررسی رفتار سرب نسبت به روی و آهن در کانسار مس پورفیری پرکام، شهر بابک، کرمان با استفاده از روش گروه‌بندی، نشریه علمی- پژوهشهای دانش زمین، سال سوم، شماره ۹، ص ۶۴ -۷۷.

-قنادپور، س.س.، هزار خانی، ا.، مختاری، ا. ر. و فتحیان‌پور، ن.، ۱۳۹۲. ارائه و بررسی روشی جدید برای جداسازی جوامع آماری مختلط بر اساس نمودارهای احتمال، نشریه روش‌های تحلیل و عددی در مهندسی معدن، شماره ۵، ص ۲۸- ۳۷.

-کاظمی مهرنیا، ا.، ۱۳۸۹. شناخت خصوصیات پوشش شسته شده و تکامل غنی شدگی سوپرژن کانسارهای مس – مولیبدن پورفیری شمال باختری کمربند کرمان، پایان نامه دکتری، دانشگاه شهید بهشتی، تهران.

-Berberian, M. and King, G.C., 1981. Towards a Paleogeography and Tectonic Evolution of Iran, Canadian journal of earth science, v. 18, p. 210–265.

-Cheng, Q., 1999. Spatial and scaling modelling for geochemical anomaly separation: Journal of Geochemical Exploration, v. 65, p. 175-194.

-Cheng, Q., Agterberg, F.P. and Bonham-Carter, G.F., 1996. A spatial analysis method for geochemical anomaly separation, Journal of Geochemical Exploration, v. 56, p. 183-I95.

-Ghannadpour, S.S. and Hezarkhani, A., 2012a. Determine the initial statistical specifications of Copper and molybdenum elements in Porphyry Copper ore deposit in Kerman: International mining congress & Expo, Iran.

-Ghannadpour, S.S., Hezarkhani, A. and Eshqi, H., 2012. Average and variance estimation programming in normal logarithmic distribution: Global journal of computer sciences, v. 2(1), p. 7-13.

-Ghannadpour, S.S. and Hezarkhani, A., 2012b. A developed software to calculate the additive constant number of average in three-variable normal logarithm: Global journal of computer sciences, v. 2(1), p. 1-6.

-Ghannadpour, S.S., Hezarkhani, A. and Sabetmobarhan, E., 2013. Some statistical analyses of Cu and Mo variates and geological interpretations for Parkam Porphyry Copper system, Kerman, Iran: Arabian Journal of Geosciences, v. 8, p. 345–355.

-Ghannadpour, S.S., Hezarkhani, A., Maghsoudi, A. and Farahbakhsh, E., 2015b. Assessment of prospective areas for providing the geochemical anomaly maps of lead and zinc in Parkam district, Kerman, Iran: Geosciences Journal. (doi: 10.1007/s12303-014-0064-0)

-Saric, A., Diordjevic, M. and Dimitrijevic, M.N., 1971. Geological map of Shahre-e-Babak, 1:100,000 Series: Geological Survey of Iran, Tehran, Iran.

-Sinclair, A.J., 1991. A Fundamental Approach to Threshold Estimation in Exploration Geochemistry, probability plots revisited: journal of Geochemical Exploration, v. 41, p. 1-22.