

## مقایسه روش‌های تحلیل اکتشافی داده‌ها و انحراف مطلق میانه به منظور شناسایی آنومالی‌های ژئوشیمیایی و مناطق مستعد کانی‌زایی (مطالعه موردی: ناحیه معدنی هنزا، جنوب کمربند فلززایی ارومیه - دختر)

امیر حبیب نیا<sup>۱</sup>، غلامرضا رحیمی پور<sup>۲\*</sup>، حجت الله رنجبر<sup>۳</sup>

۱- دانشجوی دکتری اکتشاف معدن، دانشکده فنی و مهندسی، گروه معدن، دانشگاه شهید باهنر کرمان

۲- استادیار، دانشکده فنی و مهندسی، گروه معدن، دانشگاه شهید باهنر کرمان

۳- استاد، دانشکده فنی و مهندسی، گروه معدن، دانشگاه شهید باهنر کرمان

(دریافت: مهر ۱۳۹۶، پذیرش: دی ۱۳۹۷)

### چکیده

ناحیه هنزا در بخش جنوبی کمربند فلززایی ارومیه - دختر واقع در جنوب شرقی ایران است. این ناحیه شامل چندین کانسار مس پورفیری بوده و برای اکتشاف این نوع کانی‌سازی محیط مطلوبی است. برای مطالعات ژئوشیمیایی اکتشافی تعداد ۴۵۱ نمونه رسوبات آبراهه‌ای از این ناحیه برداشت شده است. هدف شناسایی مناطق کانی‌زایی و استفاده از روشی مطلوب جهت تعیین حد آستانه عناصر است. در این پژوهش حد آستانه عناصر توسط دو روش تحلیل اکتشافی داده‌ها (EDA) و انحراف مطلق میانه (MAD) محاسبه شد. در روش EDA تخمین آستانه بر اساس انتخاب کلاس‌های ثابت در نمودار جعبه‌ای انجام می‌گیرد و به صورت  $Q3+1.5 \times (Q3-Q1)$  تعریف می‌شود. چارک سوم (Q3) و چارک اول (Q1) به ترتیب معادل ۷۵ و ۲۵ درصد فراوانی هستند. در روش MAD تخمین حد آستانه بر اساس میانه و انحراف مطلق میانه انجام می‌گیرد و به صورت میانه+دو برابر انحراف مطلق میانه ( $Median+2 \times MAD$ ) تعریف می‌شود. انحراف مطلق میانه (MAD) به عنوان میانه انحرافات مطلق تمامی مقادیر داده‌ای از میانه داده‌ها است. در محدوده مورد مطالعه ۶ کانسار شناخته شده مس پورفیری وجود دارد. به منظور مقایسه توانایی دو روش EDA و MAD در شناسایی نواحی کانی‌سازی شده (منظور شناسایی نواحی کانساری)، نقشه مس و مولیبدن توسط دو روش تهیه شد و فقط سه کانسار با روش EDA شناسایی شد، در حالی که توسط روش MAD، همه کانسارها شناسایی شدند. همچنین توسط روش MAD، هشت محدوده بی‌هنجاری جدید شناسایی گردید که پردازش‌های تصاویر ماهواره‌ای، توزیع فراگیر دگرسانی‌های مرتبط با سیستم‌های پورفیری را در آنها نشان داده است. هیچ یک از مناطق بی‌هنجاری جدید توسط روش EDA شناسایی نشدند و مشخص شد این روش برای شناسایی بی‌هنجاری‌هایی ژئوشیمیایی ناکارآمد است. روش MAD، برای شناسایی مناطق بی‌هنجاری مناسب‌تر است به طوری که توسط این روش ۱۱ محدوده (سه کانسار و ۸ بی‌هنجاری جدید) بیشتر از روش EDA شناسایی شده است.

### کلید واژه‌ها

مطالعات ژئوشیمیایی اکتشافی، شناسایی نواحی کانی‌زایی شده، محاسبه مقدار آستانه، EDA، MAD

## ۱- مقدمه

پیش‌بینی اهداف اکتشافی مواد معدنی مناسب نیست و حد آستانه آن برای همه عناصر خیلی بالا است [۶].

در اکتشافات ژئوشیمیایی سطحی نباید فقط به بی‌هنجاری‌های آشکار (مقادیر پرت)، توجه نمود زیرا ممکن است در سطح بی‌هنجاری‌های ضعیف مرتبط با نهشته کانساری باشند و بی‌هنجاری‌های شدید مرتبط با رخدادهای وابسته به نهشته‌های معدنی نباشند. دلایل این پدیده متنوع است. برخی از آنها عبارتند از [۵]:

- بی‌هنجاری‌های قوی ممکن است مرتبط با واحدهای سنگی مثل شیل باشند.
- پوشش ممکن است مانع از آشکار شدن ذخایر پنهان شود.
- تمرکز عناصر در نهشته‌های مختلف بسیار متفاوت است.
- فعالیت‌های انسانی و آلودگی‌ها باعث تغییر ماهیت ژئوشیمیایی شوند.

هدف از این پژوهش بررسی عملکرد و کارایی روش‌های تعیین آستانه EDA و MAD در شناسایی بی‌هنجاری‌های ژئوشیمیایی است.

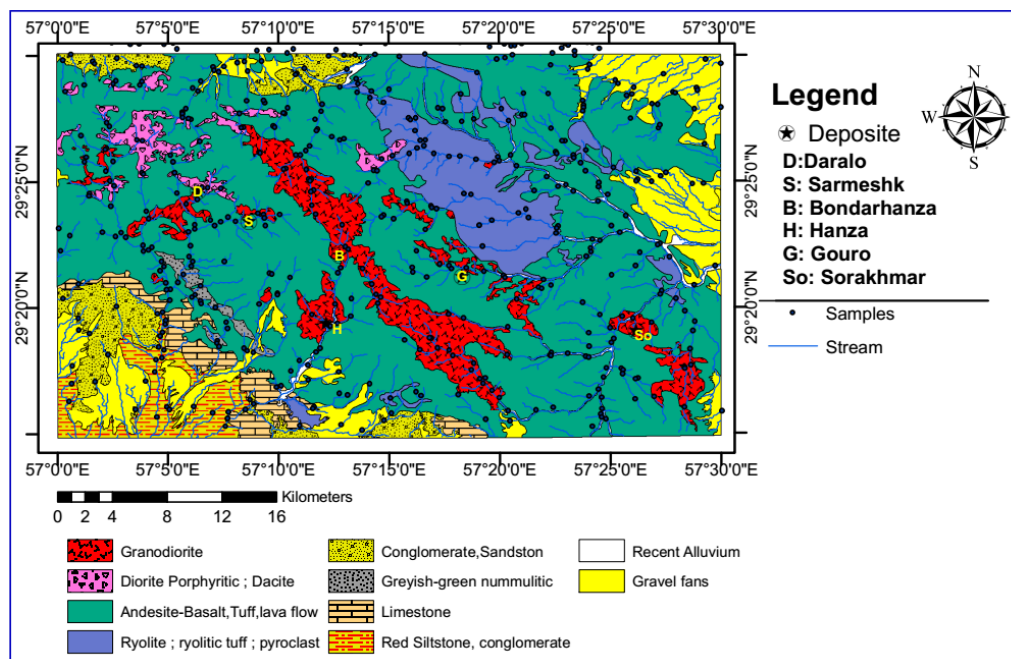
## ۲- زمین‌شناسی محدوده مورد مطالعه

ناحیه هنزا در بخش جنوبی کمربند فلززایی ارومیه-دختر قرار دارد. کمربند فلززایی ارومیه-دختر یکی از مهم‌ترین کمپلکس‌های ولکانیک-پلوتونیک در ایران است که دارای ذخایر بزرگ مس پورفیری بوده و در اثر فروانش صفحه عربی به زیر ایران مرکزی به وجود آمده است [۲، ۱۲، ۱۳]. در ناحیه هنزا تعداد ۶ کانسار مس پورفیری (کانسارهای درالو، بندارهنزا، سرمشک، هنزا، گورو، سوراخ مار) وجود دارد. این شش کانسار دارای ذخایر اقتصادی مس بوده و کانسارهای سرمشک، درالو و گورو در حال بهره‌برداری هستند. گسترش دگرسانی هیدروترمال در هر کدام از آنها قابل ملاحظه است به طوری که در محدوده هر یک از ۶ کانسار، تفکیک زون‌های دگرسانی نسبت به محیط اطراف توسط تکنیک‌های دورسنجی قابل تشخیص است. قدیمی‌ترین سنگ‌های ناحیه متعلق به مجموعه سنگ‌های آتشفشانی با سن ائوسن است که شامل سنگ‌های بازالت، تراکی بازالت، آندزیت، تراکی آندزیت و رخدادهای کمی از توف، آگلومرا و ماسه سنگ‌های توفی

ناحیه هنزا در شمال برگه زمین‌شناسی یکصد هزارم ساردویییه واقع در استان کرمان و در بخش جنوبی کمربند فلززایی ارومیه-دختر قرار دارد. این ناحیه در جنوب شرقی ایران بوده و دارای چندین کانسار مس پورفیری و دیگر ذخایر تیپ گرمابی است و از دیدگاه ژئوشیمیایی به عنوان یک ناحیه معدنی مطرح است [۱، ۲، ۳، ۴]. در این ناحیه تعداد ۶ کانسار مس پورفیری شامل درالو، بندار هنزا، سرمشک، هنزا، گورو و سوراخ مار وجود دارد. تشخیص و جدایش نهشته‌های معدنی مرتبط با بی‌هنجاری‌های ژئوشیمیایی در اکتشاف منابع معدنی، ضروری است. بی‌هنجاری‌های ژئوشیمیایی می‌توانند شاخص‌های مستقیمی در کشف ذخایر ناشناخته باشند [۵]. شناسایی بی‌هنجاری‌ها در طول فعالیت‌های اکتشافی یکی از وظایف اساسی در استفاده از داده‌های ژئوشیمیایی است [۶]. یک روش برای درک بهتر از توزیع تک عنصری و تشخیص داده‌های خارج از ردیف (بی‌هنجاری)، استفاده از روش EDA است که توسط تدکی (۱۹۷۷) و هوگلن (۱۹۸۳) توسعه یافته است [۷، ۸]. این روش جزء روش‌های آماری موسوم به Robust Statistic (روش آماری با عدم حساسیت به تغییرات مقدار در نمونه‌ها) دسته‌بندی شده و برای تجزیه و تحلیل داده‌های تک عنصری استفاده می‌شود [۹]. روش دیگر برای شناسایی بی‌هنجاری، روش انحراف مطلق میانه (MAD) است. روش MAD انعطاف پذیری بیشتری نسبت به مقادیر پرت دارد، مستقل از توزیع داده بوده و نیاز به نرمالسازی ندارد [۹-۱۱]. اسدی و همکاران در مطالعه لیتوژئوشیمیایی محلی در تپه‌های آق داغ (واقع در شمال شرق ایران)، به منظور تعیین مناطق حفاری در کانی‌زایی طلای گرمابی ساری گونای از روش‌های فرکتال عیار-مساحت و EDA برای تعیین حد آستانه استفاده نمود. او در بررسی خود نشان داد که با روش EDA تنها بی‌هنجاری‌های شدید شناسایی می‌شوند [۱۰]. به منظور شناسایی بی‌هنجاری‌های ژئوشیمیایی مرتبط با کانی‌زایی در بخش طلادار هاتو و بوگاتو در ناحیه کارامای واقع در استان زینجیانگ چین، نتایج تکنیک‌های EDA و فرکتال عیار-مساحت مقایسه شدند. سرانجام، نشان داده شد که روش EDA برای

می‌شوند. بخش عمده کانی‌زایی مس و تشکیل زون‌های دگرسانی مرتبط با کانی‌زایی، مربوط به تزریق سنگ‌های نفوذی مئوسن یا ترکیب گرانودیوریت است [۱۴، ۱۵]. نقشه زمین‌شناسی منطقه با استفاده از تصاویر استر تصحیح شده است (شکل ۱).

است که بر روی آن مجموعه آتشفشانی ائوسن- الیگوسن با سنگ‌های آندزیت- بازالت و توف‌های اسیدی قرار دارد. در این ناحیه سنگ‌های با سن ائوسن مورد تهاجم سنگ‌های نفوذی با سن الیگوسن قرار گرفته‌اند و بخش‌هایی از مجموعه سنگ‌های ائوسن- الیگوسن توسط مجموعه ولکانوپلوتونیک مئوسن- پلیئوسن پوشیده



شکل ۱: نقشه زمین‌شناسی منطقه مطالعاتی با تغییرات [۱]

نقشه‌ها توسط چارک اول، چارک سوم و مقدار حد آستانه به ۴ کلاس تقسیم می‌شوند. از تکنیک‌های دورسنجی جهت بارسازی مناطق دگرسانی هیدروترمال استفاده شد. کانی‌های کلیدی از دگرسانی‌های آرژلیک و فلیک توسط تکنیک‌های معتبر و بر اساس ویژگی‌های طیفی در محدوده مورد مطالعه شناسایی شدند. تکنیک‌های مورد استفاده شامل ترکیب رنگی کاذب و نسبت باندی بر اساس عمق نسبی باند هستند.

### ۳-۱- حد آستانه ژئوشیمیایی

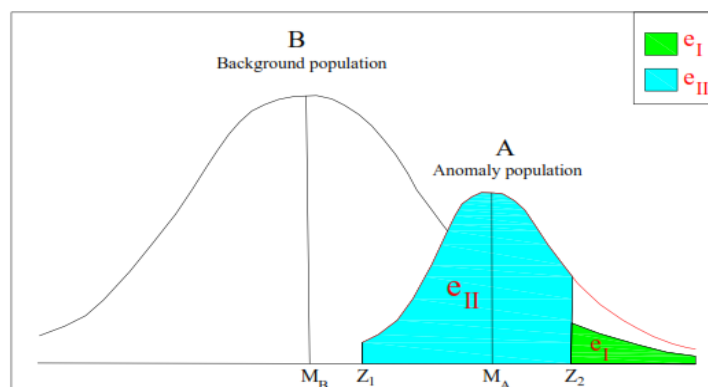
شناسایی مقادیر بی‌هنجاری یکی از وظایف اصلی در تجزیه و تحلیل داده‌های ژئوشیمیایی است [۹، ۱۰]. واژه بی‌هنجاری به طور نسبی و نسبت به یک مبنایی (حد آستانه) تعریف می‌شود [۱۶]. در ژئوشیمی اکتشافی جداسازی جامعه بی‌هنجار از جامعه زمینه با دو نوع خطا مرتبط است. در خطای نوع اول ( $e_I$ )، نمونه‌هایی با سطح زمینه به عنوان بی‌هنجاری پذیرفته می‌شوند. در خطای نوع دوم ( $e_{II}$ )، نمونه‌هایی با مقادیر بی‌هنجاری به عنوان زمینه

### ۳- مواد و روش‌های پژوهش

ژئوشیمی رسوبات آبراهه‌ای روشی مفید جهت پی‌جویی نهشته‌های معدنی در مقیاس ناحیه‌ای است. تعداد ۴۵۱ نمونه رسوبات آبراهه‌ای توسط سازمان زمین‌شناسی کشور از ناحیه برداشت گردید. نمونه‌ها توسط روش ICP-OES با دستگاه Es-735 در آزمایشگاه سازمان زمین‌شناسی کشور در کرج آنالیز شدند. ۱۲ عنصر Zn, Pb, Mo, Cu, Ag, W, Bi, Co, Ni, Mn, Sb, As انتخاب شدند تا حد آستانه آنها توسط دو روش EDA و MAD محاسبه شود.

به منظور مقایسه موقعیت قرارگیری حد آستانه در شناسایی نقاط بی‌هنجاری، از هیستوگرام نقطه‌ای عناصر استفاده شد تا مشخص شود حد آستانه کدام روش در موقعیت مطلوبی از توزیع داده قرار دارد. به منظور مقایسه دو روش EDA و MAD در شناسایی کانسارها و محدوده‌های بی‌هنجاری جدید، نقشه‌های ژئوشیمیایی مس و مولیبدن توسط دو روش EDA و MAD تهیه شد.

داد که با کاهش حد آستانه از  $X+2S$  به سمت  $X+S$  مقدار کاهش  $e_{II}$  بیشتر از افزایش  $e_I$  خواهد بود و برای دستیابی به حد آستانه مطلوب در یک توزیع نرمال باید  $Z_2$  را کمتر از  $X+2S$  انتخاب نمود [۱۷]. در واقع به منظور کاهش خطای کل، کمینه کردن  $e_{II}$  بهینه است [۱۷، ۱۸]. بنابراین در پردازش‌های آماری باید روشی برای تعیین حد آستانه انتخاب گردد که خطای نوع دوم را کاهش دهد.



شکل ۲: جامعه بی‌هنجاری در کنار جامعه زمینه در هیستوگرام نرمال استاندارد. جامعه بی‌هنجاری با میانگین  $M_A$  و جامعه زمینه با میانگین  $M_B$ .  $Z_1$ : حد پایینی جامعه بی‌هنجاری.  $Z_2$ : حد بالایی جامعه زمینه.  $e_I$  و  $e_{II}$  خطاهای نوع اول و دوم با فرض  $Z_2$  به عنوان حد آستانه [۱۷].

### ۳-۱-۲- روش تحلیل اکتشافی داده‌ها (EDA)

روش EDA به طور مؤثر برای تجزیه و تحلیل مجموعه وسیعی از داده‌های ژئوشیمیایی استفاده می‌شود. اصول روش EDA برخلاف تکنیک‌های آماری معمول است، زیرا روش EDA نیاز ندارد که مجموعه داده از توزیع نرمال پیروی کنند [۶-۱۰، ۲۱، ۲۲]. این روش جزء روش‌های آماری موسوم به Robust Statistic (روش آماری با عدم حساسیت به تغییرات مقدار در نمونه‌ها) دسته‌بندی شده و برای تجزیه و تحلیل داده‌های تک عنصری استفاده می‌شود. حد آستانه در این روش بر اساس چارک اول، چارک سوم و تعریف کلاس‌هایی با عدم حساسیت به مقادیر خارج از رده محاسبه می‌شود.

در این پژوهش از نمودار جعبه‌ای جهت نمایش کلاس‌ها استفاده شده است (شکل ۳A). قابل ذکر است استفاده از نمودار جعبه‌ای برای نمایش حد آستانه و جداسازی ناهنجاری‌های معادل روش EDA در نظر گرفته شده است. روش EDA مبتنی بر کاربرد نمودارهای مختلف برای اهداف متفاوت است و نمودار جعبه‌ای یکی از آنها است که در جداسازی بی‌هنجاری‌های ژئوشیمیایی کاربرد

در نظر گرفته می‌شوند (شکل ۲) [۱۷]. در شکل ۲ حد آستانه معادل  $Z_2$  است. اگر  $e_{II}$  کاهش یابد (یعنی حد آستانه کمتر از  $Z_2$  شود)، تعداد نمونه‌های بیشتری به عنوان بی‌هنجاری شناسایی می‌شوند و اگر  $e_{II}$  افزایش یابد برخی از نمونه‌های بی‌هنجاری واقعی حذف می‌شوند. وقتی حد بالایی جامعه زمینه ( $Z_2$ ) کاهش یابد،  $e_{II}$  کاهش و  $e_I$  افزایش می‌یابد. چنگ در هیستوگرام نرمال استاندارد نشان

بخش آبی رنگ در جامعه A بی‌هنجاری است اما اگر  $Z_2$  به عنوان حد آستانه انتخاب شود، این بخش در جامعه B به عنوان زمینه پذیرفته خواهد شد. در واقع با انتخاب  $Z_2$  به عنوان حد آستانه بخش عمده‌ای از جامعه بی‌هنجاری شناسایی نخواهد شد.

### ۳-۱-۱- روش انحراف مطلق میانه MAD

به منظور شناسایی بی‌هنجاری‌های ژئوشیمیایی و تخمین حد آستانه، هنگام کار با داده‌های ژئوشیمیایی مختلط، استفاده از میانه و انحراف مطلق میانه به جای میانگین و انحراف استاندارد، می‌تواند ترجیح داده شود [۶، ۱۹]. انحراف مطلق میانه شبیه انحراف معیار در آمار کلاسیک است و به صورت میانه انحرافات مطلق تمامی مقادیر داده‌ای از میانه داده‌ها تعریف می‌شود (رابطه ۱). در روش MAD حد آستانه به صورت میانه+دو برابر انحراف مطلق میانه تعریف می‌شود (رابطه ۲).

$$MAD = \text{Median} [ |X_i - \text{median}(x_i)| ] \quad (1)$$

$$\text{Threshold} = \text{Median} + (2 \times MAD) \quad (2)$$

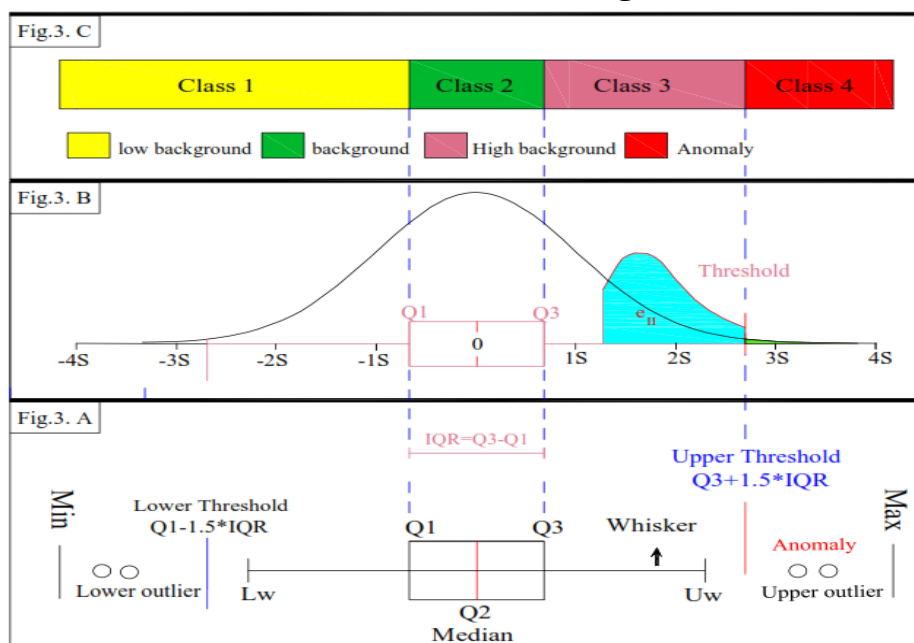
در این روش تمامی داده‌ها باید حضور داشته باشند تا انحراف مطلق با دقت بیشتر محاسبه شود [۹، ۱۱، ۲۰].

۲۲]. ویسکر پایینی (LW) و ویسکر بالایی (UW) از هریک از لولاهای به سمت کرانه‌ای‌ترین مقادیر داده‌ای در درون حصار داخلی رسم می‌شوند. در نمودار جعبه‌ای اگر بیشترین مقدار داده، کمتر از حد آستانه باشد، بیشترین مقدار به عنوان ویسکر بالایی نمایش داده می‌شود و در این حالت بی‌هنجاری (مقدار پرت) مشاهده نمی‌شود. اما اگر بیشترین مقدار داده، بیشتر از حد آستانه باشد، حد آستانه به عنوان ویسکر بالایی نمایش داده می‌شود و در این حالت بی‌هنجاری (مقدار پرت) وجود دارد.

$$IQR = \text{Hinge width} = \text{Box length} = Q3 - Q1 \quad (3)$$

$$\text{Threshold} = Q3 + (1.5 \times IQR) \quad (4)$$

دارد. در نمودار جعبه‌ای، پایین و بالای جعبه همواره چارک اول و سوم است. خط داخل جعبه همیشه معرف چارک دوم (میانه) است که تقارن یا عدم تقارن توزیع داده‌ها را نشان می‌دهد. تفاوت مطلق بین مقادیر در لولای بالا (چارک سوم) و لولای پایین (چارک اول) نشان دهنده محدوده بین چارک‌ها (IQR) یا عرض لولا است (رابطه ۳). در روش EDA، حد آستانه بالایی برابر چارک سوم به اضافه یک و نیم برابر طول جعبه تعریف می‌شود و مقادیر فراتر از آن به عنوان بی‌هنجاری یا مقادیر از بالا پرت در نظر گرفته می‌شوند مقادیر پرت منطبق با بی‌هنجاری‌های ژئوشیمیایی هستند (رابطه ۴، شکل ۳) [۶-۸، ۱۰، ۲۰، ۲۳-۳۲]. خطوط بیرون زده از جعبه، ویسکرز (دنباله حصار جعبه) بوده که هنوز داخل حصار جعبه محسوب می‌شود [۷، ۸،



شکل ۳: (A) نمایش حد آستانه بالایی و پایینی روش EDA در نمودار جعبه‌ای [۲۰، ۲۳، ۲۴]. (B) موقعیت حد آستانه روش EDA بر روی هیستوگرام نرمال استاندارد. حد آستانه در بخش انتهایی جامعه زمینه قرار دارد و خطای نوع دوم در بیشترین مقدار است. (C) کلاسه بندی نقشه‌های ژئوشیمیایی به ۴ کلاس توسط چارک اول، چارک سوم و مقدار حد آستانه

مولیبدن پورفیری استفاده می‌شود [۳۳-۳۶]. در این مطالعه برای نمایش دگرسانی‌ها از تصویر سنجنده استر استفاده شده است. داده‌های استر مورد استفاده در این مطالعه شامل T level بوده و از سایت <sup>۱</sup>earthexplorer تهیه شد. تصویر دارای ۱۴ باند بوده و تاریخ تهیه آن ۱۳ جولای ۲۰۰۵ است. سنجنده استر دارای ۱۴ باند طیفی مختلف در سه گروه با قدرت تفکیک مکانی متفاوت است. محدوده طیفی بین ۰/۵۲ تا ۰/۸۶ میکرومتر (VNIR) در سه باند با قدرت تفکیک مکانی ۱۵ متر، محدوده طیفی بین ۱/۶ تا

### ۳-۲- روش دورسنجی

به منظور نشان دادن اهمیت مناطق بی‌هنجاری که توسط روش EDA شناسایی نشدند از دورسنجی استفاده شده است. تکنیک دورسنجی یک نقش اساسی در مراحل مقدماتی اکتشاف نهشته‌های معدنی خصوصاً در نواحی خشک و نیمه خشک دارد. شناسایی نواحی دگرسان شده گرمابی از طریق دورسنجی گسترش یافته و با موفقیت برای اکتشاف نهشته‌های معدنی گرمابی خصوصاً تیپ مس-

این تکنیک، باندی که بیشترین جذب را دارد در مخرج کسر و مجموع دو باندی که در نزدیک‌ترین موقعیت به باند جذب بوده و بازتاب دارند، در صورت کسر قرار می‌گیرند [۴۳].

#### ۴- نتایج و یافته‌های تحقیق

##### ۴-۱- نتایج ژئوشیمیایی

روش‌های EDA و MAD نیاز به نرمالسازی ندارند و مستقل از توزیع هستند [۹]. شکل ۳، نمودار جعبه‌ای نحوه عملکرد روش EDA را نشان می‌دهد در این روش مقادیر پرت به عنوان بی‌هنجاری مطرح می‌شوند. نتایج دو روش در جدول ۱ آورده شده که بیانگر اختلاف زیاد حد آستانه بین دو روش نسبت به همه عناصر است. در این تحقیق هیستوگرام نقطه‌ای از توزیع مقادیر عناصر Ni, Mo, Cu, Co, Bi و Pb تهیه شد تا موقعیت حد آستانه دو روش EDA و MAD به منظور آشکارسازی نقاط بی‌هنجاری نشان داده شود (شکل ۴). در این هیستوگرام، توزیع مقادیر عناصر به صورت نقطه‌ای بوده که هر نقطه معرف یک نمونه است. نقشه‌های مس و مولیبدن توسط دو روش EDA و MAD تهیه شد تا مشخص شود کدام روش در آشکارسازی ۶ محدوده کانساری موفق‌تر است (شکل ۵). نقشه‌ها توسط چارک اول، چارک سوم و مقدار حد آستانه به ۴ کلاس تقسیم شدند (شکل 3C).

##### ۴-۲- نتایج دورسنجی

آنالیزهای تجربی بر روی باندهای سنجنده استر نشان داده‌اند که ترکیب رنگی RGB=468، مناسب‌ترین ترکیب رنگی برای شناسایی دگرسانی در اغلب کانسارها به ویژه مس پورفیری و طلای اپی ترمال است (شکل 6A). در این تصویر، نواحی با دگرسانی پروپیلیتییک به رنگ سبز و نواحی با دگرسانی سرسیت (فیلیک) به رنگ صورتی دیده می‌شوند. این مسئله به علت بازتابندگی بالای کانی‌های آلونیت، کائولینیت و مسکویت در باند ۴ نسبت به باندهای ۶ و ۸ است [۴۴، ۴۵]. در این مطالعه دو تصویر ترکیب رنگی از نسبت‌های باندی تهیه شد.

۲/۴۳ میکرومتر (SWIR) در شش باند با قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر و محدوده طیفی مادون قرمز حرارتی از ۸/۱۲ تا ۱۱/۶۵ میکرومتر (TIR) در پنج باند با قدرت تفکیک مکانی ۹۰ متر است. در این مطالعه از باندهای VNIR و SWIR استفاده شده است. برای پیش‌پردازش تصویر از تصحیح بازتاب نسبی میانگین داخلی (IARR) استفاده شد. در این روش از میانگین تصویر استفاده می‌شود که مقادیر پیکسل‌ها بر میانگین به دست آمده تقسیم می‌شوند [۳۷، ۳۸].

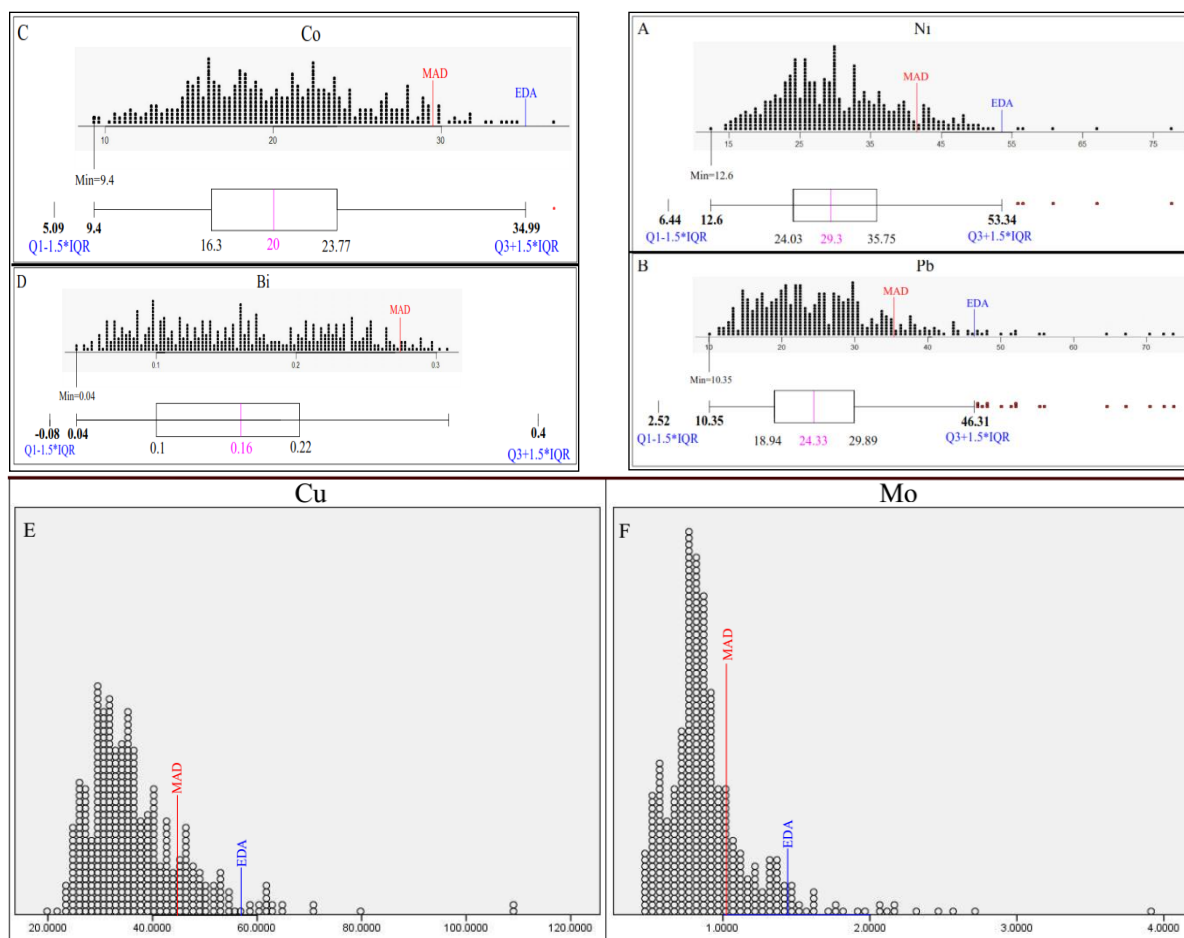
کائولینیت و مسکویت کانی‌های کلیدی برای نقشه‌برداری زون‌های دگرسانی آرژیلیک و فیلیک هستند. کانی موسکویت شاخص زون فیلیک و کانی کائولینیت شاخص زون آرژیلیک است. مناطق غنی از مسکویت شاخص مهمی برای وجود فرایندهای دگرسانی گرمایی است [۳۹، ۳۴]. دگرسانی‌های آرژیلیک و فیلیک مرتبط با سامانه‌های پورفیری بوده و در قسمت بالایی و حاشیه سامانه قرار می‌گیرند [۴۰]. در این مطالعه، پردازش داده‌ها با هدف شناسایی مناطق غنی از کائولینیت و مسکویت و توسط تکنیک‌های معتبر و بر اساس ویژگی‌های طیفی کانی‌ها انجام گرفت. تکنیک‌ها شامل ترکیب رنگی کاذب و نسبت باندی بر اساس عمق نسبی باند است.

##### ۳-۲-۱- ترکیب رنگی کاذب و نسبت باندی

اغلب تصاویر ماهواره‌ای به شکل چند باندی هستند، تجزیه و تحلیل یک باند به تنهایی نمی‌تواند حداکثر اطلاعات را در اختیار قرار دهد و استفاده از این شیوه در تهیه تصاویر رنگی مرکب متداول است [۴۱، ۴۲]. تصاویر نسبتی یا نسبت‌های باندی از شیوه‌های بسیار مفید جهت بارزسازی پدیده‌ها و شناسایی کیفی دگرسانی‌های گرمایی محسوب می‌شوند. از این روش برای کاهش تأثیر روشنایی خورشید، توپوگرافی و بارزسازی اطلاعات طیفی در تصاویر استفاده می‌شود. در این تکنیک مقادیر پیکسل‌ها از یک باند تقسیم بر مقدار متناظر همان پیکسل‌ها از باند دیگر می‌شوند. تهیه تصاویر ترکیب رنگی نسبت باندی روش مفیدی برای شناسایی زون‌های دگرسانی است [۳۴]. تصاویر RBD برای نمایش شدت جذب مفید هستند. در

جدول ۱: مقادیر حد آستانه عناصر با روش‌های EDA و MAD. (مقادیر بر حسب PPM)

|           | Min  | Max   | (Q1) | (Q2)  | (Q3)  | MAD method |           | EDA method |
|-----------|------|-------|------|-------|-------|------------|-----------|------------|
|           |      |       |      |       |       | MAD        | Threshold | Threshold  |
| <b>Zn</b> | 67.9 | 204   | 84.4 | 92.38 | 108.4 | 10.26      | 112.89    | 144.4      |
| <b>Pb</b> | 10   | 73.42 | 18.9 | 24.33 | 29.89 | 5.56       | 35.44     | 46.31      |
| <b>Ag</b> | 0.06 | 0.13  | 0.08 | 0.08  | 0.09  | 0.01       | 0.1       | 0.118      |
| <b>Ni</b> | 12.6 | 77.2  | 24   | 29.3  | 35.75 | 5.6        | 40.5      | 53.34      |
| <b>Bi</b> | 0.04 | 0.31  | 0.1  | 0.16  | 0.22  | 0.06       | 0.27      | 0.394      |
| <b>Cu</b> | 19.9 | 430.8 | 30.2 | 34.56 | 40.88 | 5.09       | 44.73     | 56.9       |
| <b>As</b> | 0.3  | 25.4  | 0.8  | 1.1   | 1.5   | 0.3        | 1.7       | 2.55       |
| <b>Sb</b> | 0.41 | 2.76  | 0.64 | 0.76  | 0.97  | 0.13       | 1.03      | 1.47       |
| <b>Co</b> | 9.4  | 36.8  | 16.3 | 20    | 23.78 | 3.7        | 27.4      | 34.99      |
| <b>W</b>  | 0.4  | 5.2   | 0.7  | 0.9   | 1.2   | 0.3        | 1.5       | 1.95       |
| <b>Mo</b> | 0.67 | 18.93 | 0.72 | 0.82  | 1.01  | 0.1        | 1.02      | 1.44       |
| <b>Mn</b> | 103  | 3892  | 758  | 890.4 | 1000  | 125.6      | 1141.6    | 1363       |



شکل ۴: انطباق نمودار جعبه‌ای روش EDA بر روی هیستوگرام نقطه‌ای عناصر به منظور مقایسه موقعیت حد آستانه دو روش EDA و MAD

در شکل دوم ( $R=7/5$ ,  $G=5/6$ ,  $B=9/8$ )، نسبت باندی ۷/۶ برای شناسایی مناطق غنی از موسکویت [۴۶]، نسبت باندی ۵/۶ برای شناسایی کانی‌های گروه Al-Si-OH [۴۷ و ۴۸]، و نسبت باندی ۹/۸ برای شناسایی زون دگرسانی پروپیلیتیک است (شکل ۶C). در این شکل دگرسانی آرژیلیک به رنگ سبز، دگرسانی فلیک به رنگ زرد و دگرسانی پروپیلیتیک به رنگ آبی روشن است [۳۴].

در تصویر اول ( $R=4/5$ ,  $G=4/6$ ,  $B=4/7$ )، نسبت باندی ۴/۵ برای شناسایی کائولینیت، نسبت باندی ۴/۶ برای شناسایی موسکویت است (شکل ۶B). در این شکل مناطق سفید رنگ نشان‌دهنده پاسخ ترکیب‌های (Al-OH) در باندهای ۵ و ۶ و ترکیب‌های (Fe-OH) در باند ۷ است [۴۶].



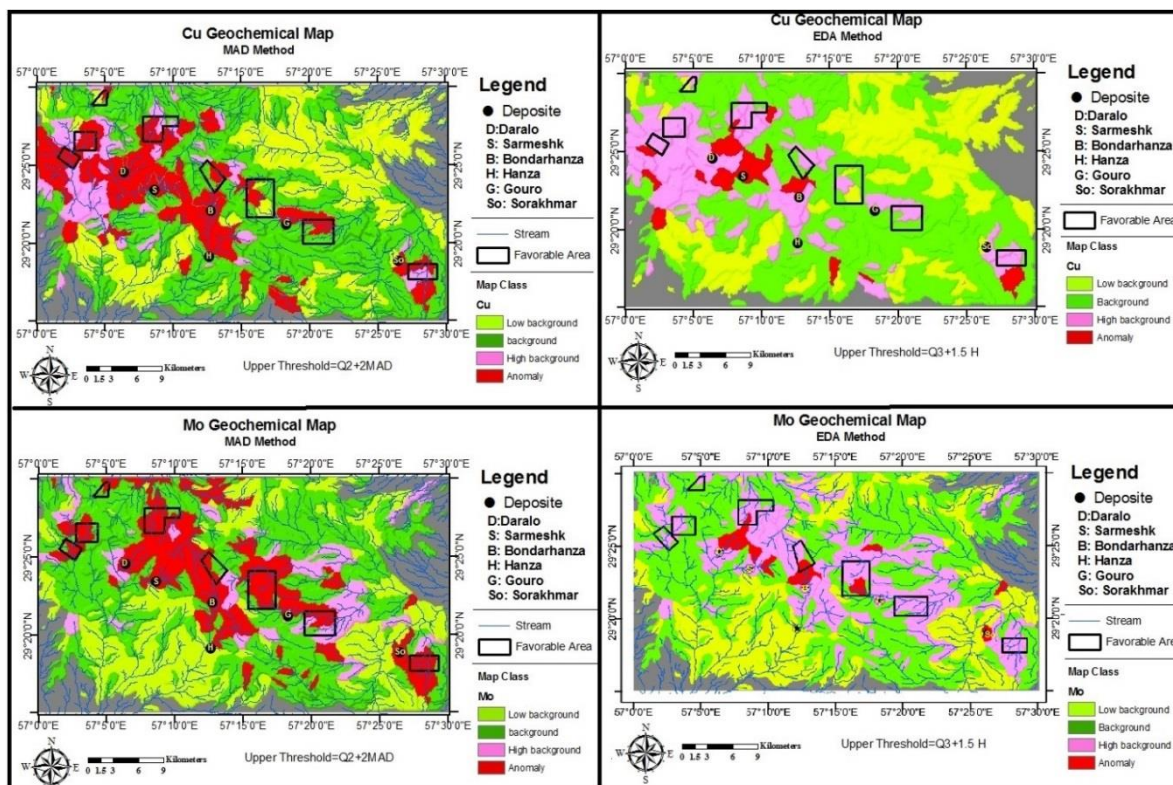
آرژلیک به رنگ سبز، زون فلیک به رنگ زرد و زون پروپیلیتیک به رنگ آبی مشخص می‌شوند [۴۳، ۳۴].

$$RBD_5 = (B_4 + B_6) / B_5$$

$$RBD_6 = (B_5 + B_7) / B_6$$

$$RBD_8 = (B_7 + B_9) / B_8$$

در این مطالعه یک شکل ترکیب رنگی از سه نسبت  $RBD_5$ ,  $RBD_6$ ,  $RBD_8$  تهیه شد (شکل ۶D). در شکل ترکیب رنگی ( $R = RBD_5$ ,  $G = RBD_6$ ,  $B = RBD_8$ )، نسبت  $RBD_5$  برای شناسایی زون آرژلیک، نسبت  $RBD_6$  برای شناسایی زون فلیک و نسبت  $RBD_8$  برای شناسایی زون پروپیلیتیک است. در تصویر ترکیب رنگی، زون



شکل ۵: نقشه‌های آنومالی مس و مولیبدن به دست آمده بر اساس دو روش MAD و EDA در منطقه مطالعاتی

مقدار است که در اکتشافات ناحیه‌ای مطلوب نیست. در این روش اگر داده‌ها دارای توزیع نرمال باشند، ۳۵٪ درصد از جامعه زمینه به جامعه بی‌هنجاری اختصاص می‌یابد (شکل ۳).

در روش MAD تعیین حد آستانه بر اساس میانه و انحراف مطلق میانه است. در بین پارامترهای آماری، میانه پایدارتر بوده و نسبت به توزیع داده‌ها و مقادیر پرت مستقل است. بنابراین حد آستانه محاسبه شده توسط این روش دارای پایداری بالایی بوده و با حذف مقادیر کرانه‌ای تغییر چندانی نخواهد کرد. برخی از مزایای روش MAD عبارتند از:

- مستقل از توزیع داده‌ها و مقادیر کرانه‌ای
- پایداری (پایداری) حد آستانه با حذف مقادیر پرت

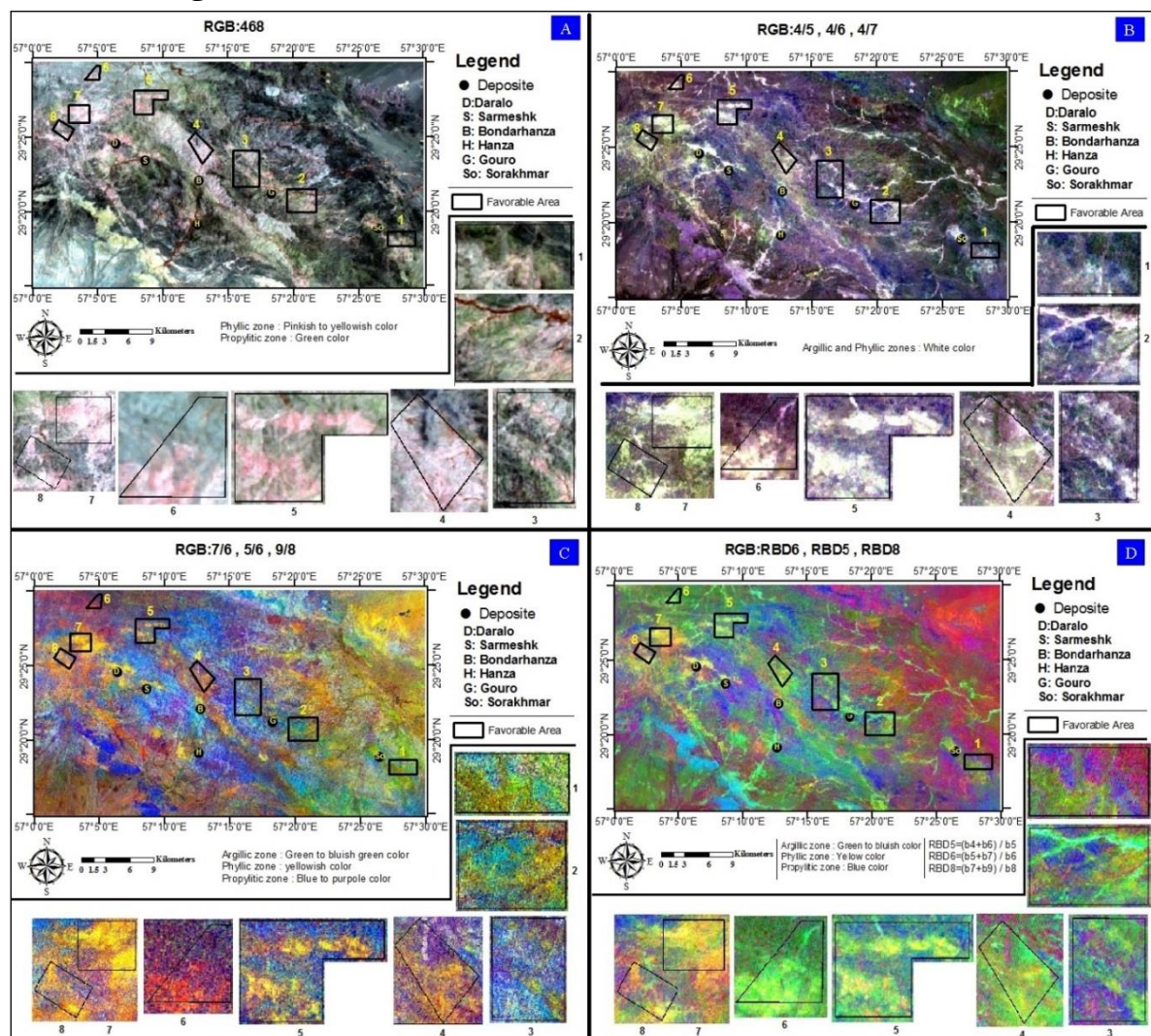
## ۵- بحث

تعیین حد آستانه و شناسایی نمونه‌های بی‌هنجار در مناطقی که ناحیه معدنی محسوب می‌شوند و شامل چندین میدان معدنی (چندین سامانه ماگمایی-معدنی) هستند، بسیار مهم است. در چنین مناطقی فعالیت گرمایی و شدت دگرسانی‌ها و همچنین زمینه محلی عناصر در سنگ‌ها بالا است [۴۹]. امروزه روش EDA توسط بسیاری از پژوهشگران استفاده می‌شود [۲۸-۳۲، ۵۰]. با انطباق نمودار جعبه‌ای روش EDA در هیستوگرام نرمال استاندارد، مشخص شد که در روش EDA فقط مقادیر پرت به عنوان بی‌هنجاری در نظر گرفته می‌شوند و حد آستانه این روش در بخش انتهایی هیستوگرام بوده و خطای نوع دوم در شناسایی مناطق بی‌هنجار توسط این روش در بیشترین



روش MAD در شناسایی بی‌هنجاری، بیشتر از روش EDA است. به طور کلی اگر  $e_{II}$  کاهش یابد، تعداد نمونه‌های بیشتری به عنوان بی‌هنجاری شناسایی می‌شوند و اگر  $e_{II}$  افزایش یابد برخی از نمونه‌های بی‌هنجاری واقعی حذف می‌شوند (شکل ۲). وقتی حد بالایی جامعه زمینه (حد آستانه) کاهش یابد،  $e_{II}$  کاهش می‌یابد.

• محاسبه آسان  
• دقت بالا نسبت به EDA  
حد آستانه محاسبه شده توسط روش MAD کمتر از EDA برای هر متغیر است و هیستوگرام نقطه‌ای (شکل ۴) این مورد را تأیید می‌کند در واقع برای هر متغیر  $e_{II}(MAD) < e_{II}(EDA)$  است و دقت محاسبه آستانه با قوانین



شکل ۶: نتایج پردازش تصاویر سنجنده استر به منظور شناسایی زونهای آرژبلیک و فیلیک

بهتری از هیستوگرام توزیع بوده و توسط روش MAD بی‌هنجاری‌های بیشتری شناسایی می‌شوند.

پس از مقایسه نقشه‌های مس و مولیبدن به منظور آشکارسازی مناطق کانساری، فقط سه کانسار درالو، سرمشک و بندار هنزا با روش EDA شناسایی شدند در واقع مقادیر دو عنصر Cu و Mo در نمونه‌های برداشت شده از حوضه‌های سه کانسار درالو، سرمشک و بندار هنزا نسبت به سایر نمونه‌ها، خارج از رده بوده و فقط این سه محدوده توسط روش EDA شناسایی شدند. اما توسط روش MAD

در بررسی هیستوگرام نقطه‌ای عناصر Ni, Co, Bi و Pb (شکل ۴)، کاملاً مشخص است که حد آستانه با روش EDA در بخش انتهایی هیستوگرام قرار گرفته و لذا با این روش فقط مقادیر پرت به عنوان بی‌هنجاری شناسایی می‌شوند. به طوری که توسط روش EDA، یک نقطه بی‌هنجار برای Co و ۵ نقطه بی‌هنجار برای Ni مشاهده شده و هیچ بی‌هنجاری برای Bi مشاهده نشده است. حد آستانه روش MAD نسبت به روش EDA در موقعیت

بنابراین توانایی روش MAD در شناسایی بی‌هنجاری‌های با کنتراست پایین بیشتر از روش EDA است و توسط این روش محدوده‌های بیشتری به عنوان بی‌هنجاری معرفی می‌شوند. در این مطالعه توسط روش MAD، ۱۱ محدوده (سه کانسار و ۸ ناحیه بی‌هنجاری جدید) بیشتر از روش EDA شناسایی شده است.

۲- روش MAD روشی کارآمد برای تجزیه و تحلیل داده‌های ژئوشیمیایی و شناسایی بی‌هنجاری‌های ضعیف است. در روش MAD تعیین حد آستانه بر اساس میانه و انحراف مطلق میانه است. در بین پارامترهای آماری، میانه پایدارتر بوده و نسبت به توزیع داده‌ها و مقادیر پرت مستقل است. بنابراین حد آستانه محاسبه شده توسط این روش دارای پایداری بالایی بوده و با حذف مقادیر کرانه‌ای تغییر چندانی نخواهد کرد.

۳- روش EDA در شناسایی بی‌هنجاری‌های شدید کاربرد دارد و در بررسی‌های ژئوشیمیایی در مقیاس ناحیه‌ای توصیه نمی‌شود زیرا توسط روش EDA بخش عمده‌ای از مناطق بی‌هنجاری شناسایی نمی‌شوند. بنابراین پیشنهاد می‌شود در برنامه‌های اکتشافی که از این روش در شناسایی مناطق امیدبخش استفاده شده است، بازنگری صورت گیرد.

### مراجع

- [1] Djokovic, I., Dimitrijevic, M.N., Cvetic, S., Dimitrijevic, M.D., 1973. Geological map of Iran sheet 7448-Sarduiye, Scale 1:100,000.
- [2] Mohebi, A., Mirnejad, H., Lentz, D., Behzadi, M., Kani, A., Taghizadeh, H., Dolati, A., 2015. Controls on porphyry Cu mineralization around Hanza Mountain, south-east of Iran: An analysis of structural evolution from remote sensing, geophysical, geochemical and geological data. *Journal of ore geology Reviews*, 69, 187–198.
- [3] Agard, P., Monié, P., Gerber, W., Omrani, J., Molinaro, M., Labrousse, L., Vrielynck, B., Meyer, B., Jolivet, L., Yamato, P., 2006. Transient, syn-obduction exhumation of Zagros blueschists inferred from P-T-deformation-time and kinematic constraints implications for Neotethyan wedge dynamics, *Journal of Geophysical Research*. 111. B11401.
- [4] Berberian, F., Muir, I.D., Pankhurst, R.J., Berberian, M., 1982. Late Cretaceous and early Miocene Andean-type plutonic activity in northern Makran and Central Iran. *Journal of the Geological Society -Lyell Collection*, 139, 605–614.

همه کانسارها شناسایی می‌شوند و بی‌هنجاری مس و مولیبدن در محدوده همه کانسارها مشاهده می‌شود. همچنین در ناحیه مورد مطالعه، ۸ محدوده بی‌هنجاری جدید (خطوط سیاه رنگ در شکل ۵) توسط روش MAD شناسایی شدند که دارای بی‌هنجاری مس و مولیبدن هستند. نقشه زمین‌شناسی نشان می‌دهد که سنگ‌های گرانیتی و گرانودیوریتی در هر ۸ محدوده وجود دارند که نشان دهنده اهمیت بالای محدوده‌ها است. توسط روش EDA هیچ‌کدام از این مناطق بی‌هنجاری جدید شناسایی نمی‌شود. بنابراین واضح است که  $e_{II}(MAD) < e_{II}(EDA)$  برای عناصر Cu و Mo است.

تکنیک‌های دورسنجی مورد استفاده در این پژوهش که بر روی تصاویر استر انجام گرفت در بارزسازی مناطق دگرسانی موفقیت آمیز بوده به طوری که در هر ۶ محدوده کانساری موجود، دگرسانی‌های آرژیلیک و فلیک نمایان شده است. لذا به منظور نشان دادن اهمیت ۸ محدوده بی‌هنجاری جدید از آنالیز تصاویر ماهواره‌ای استفاده شد و مشخص شد در هر ۸ محدوده، کانی‌های کلیدی دگرسانی‌های آرژیلیک و فلیک گسترش قابل ملاحظه‌ای دارند (شک‌های 6A تا 6D). دگرسانی‌های مذکور مرتبط با سامانه‌های پورفیری بوده و در قسمت فوقانی سامانه قرار می‌گیرند.

دست‌آورد این پژوهش نشان می‌دهد که روش EDA برای شناسایی بی‌هنجاری‌های مرتبط با ذخایر معدنی مناسب نبوده و اهمیت این پژوهش، نمایش حذف مناطق بی‌هنجاری در زون ارومیه دختر توسط روش EDA در نقشه‌های ژئوشیمیایی مس و مولیبدن و اثبات مهم بودن این مناطق با وجود انواع دگرسانی‌های هیدروترمال، توسط روش دورسنجی است. با توجه به اینکه هر بی‌هنجاری ممکن است مرتبط با یک ذخیره پرفیری جدید باشد لذا منسوخ شدن روش EDA در مطالعات ژئوشیمیایی و بازبینی فعالیت‌های اکتشافی قبلی در زون ارومیه دختر (که با روش EDA انجام شدند) به عنوان بازتابی از دست‌آورد این پژوهش در آینده خواهد بود.

### ۶- نتیجه‌گیری

۱- خطای نوع دوم یعنی  $e_{II}$  برای مقدار آستانه تعریف شده توسط روش MAD کمتر از روش EDA است،

- [16] Wellmer, F.W. 1998, Statistical evaluations in exploration for mineral deposits, Springer New York, P.379.
- [17] Cheng, Q., Agterberg F.P., Bonham-Carter, G.F., 1996. A spatial analysis method for geochemical anomaly separation. *Journal of Geochemical Exploration* 56, 183-195.
- [18] Stanley. CR., 1988. Comparison of data classification procedures in applied geochemistry using Monte Carlo simulation. Unpublished Ph.D. thesis, Univ. of British Columbia, Vancouver, 256 pp.
- [19] Templ, M., Filzmoser, P., Reimann, C., 2008. Cluster analysis applied to regional geochemical data: Problems and possibilities. *Journal of Applied Geochemistry* 23, 2198-2213.
- [20] Reimann, C., Filzmoser, P., Garrett, R.G., 2005. Background and threshold: critical comparison of methods of determination. *Science of the total Environment*, 346, 1-16.
- [21] Kürzl, H. 1988. Exploratory data analysis: recent advances for the interpretations of geochemical data. *Journal of Geochemical Exploration*, 30, 309-322.
- [22] Gutiérrez, M., Reyes Gomez, V, M., Nuez Lopez, D., 2012. Exploratory Analysis of Sediment Geochemistry to Determine the Source and Dispersion of Ba, Fe, Mn, Pb and Cu and in Chihuahua, Northern Mexico. *Journal of Geography and Geology*, 4, 26-39.
- [23] Campbell, N.A., 1982. Statistical treatment of geochemical data. In: R.E. Smith (Ed.), *Geochemical Exploration in Deeply Weathered Terrain*. CSIRO Institute of Energy and Earth Resources, Floreat Park, Western Australia, 141-144.
- [24] Howarth, R.J., 1984. Statistical approach in geochemical prospecting: a survey of recent developments. *Journal of Geochemical Exploration*, 21, 41-61.
- [25] Garrett, R.G., 1988. IDEAS: an interactive computer graphics tool to assist the exploration geochemist. In: *Current Research, Part F*. *Journal of Geological Survey of Canada*, Paper 88-1F, 1-13.
- [26] O'Connor, P.J., Reimann, C., 1992. Multielement regional geochemical reconnaissance as an aid to target selection in Irish Caledonian terrains. *Journal of Geochemical Exploration*, 47, 63-87.
- [27] Zhang, C., & Selinus, O. 1998. Statistics and GIS in environmental geochemistry-some problems and solutions. *Journal of Geochemical Exploration*, 64, 339-354.
- [5] Yang, J., Frederik P. A., Cheng, Q. 2015. Anovelfiltering technique for enhancing mineralization associated geochemical and geophysical anomalies. *Journal of Computers & Geosciences*, 79, 94-104
- [6] Zhou, S., Zhou, K., Cui, Y., Wang, J., Ding, J., 2014. Exploratory Data Analysis and Singularity Mapping in Geochemical Anomaly Identification in Karamay, Xinjiang, China. *Journal of Geochemical Exploration*.
- [7] Tukey, J.W., 1977. Exploratory data analysis. Addison-Wesley, Reading.
- [8] Hoaglin, D.C., 2015. Exploratory Data Analysis: Univariate Methods. *International Encyclopedia of the Social & Behavioral Sciences*, 2nd edition, 8, 600-604.
- [9] Carranza, E. J. M., 2009. Exploratory analysis of geochemical anomalies. In M. Hale (Ed.) *Geochemical Anomaly and Mineral Prospectivity Mapping in GIS, Handbook of Exploration and Environmental Geochemistry*, 11, (Elsevier, 351 pp).
- [10] Asadi, H.H., Kianpouryan, S., JunLu, Y., McCuaig, T.C., 2014. Exploratory data analysis and C-A fractal model applied in mapping multi-element soil anomalies for drilling: A case study from the Sari Gunay epithermal gold deposit, NW Iran. *Journal of Geochemical Exploration* 145, 233-241.
- [11] Ghannadpour, S.S., Hezarkhani, A., Maghsoudi, A., Farahbakhsh, E., 2015. Assessment of prospective areas for providing the geochemical anomaly maps of lead and zinc in Parkam district, Kerman, Iran. *Journal of Geosciences*, 19(3), 431-440.
- [12] Shahabpour, J., 2005. Tectonic evolution of the orogenic belt in the region located between Kerman and Neyriz. *Journal of Asian Earth Sciences*, 24, 405-417.
- [13] Berberian, M., King, G.C., 1981, Towards a paleogeography and tectonic evolution of Iran. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 18, 210-265.
- [14] Aftabi, A., Atapour, H., 1997. Geochemical and petrological characteristics of shoshonitic and potassic calcalkaline magmatism at Sarcheshmeh and Dehsiahan porphyry copper deposits, Kerman, Iran, *Research Bulletin of Isfahan University* 9, 127-156 (in Persian).
- [15] Hassanzadeh, J., 1993. Metallogenic and tectonomagmatic events in the SE sector of the Cenozoic active continental margin of central Iran (Shahr e Babak area, Kerman Province) Ph.D. Thesis University of California, Los Angeles (pp 204).

- atmospheric correction technique. *Journal of Remote Sensing*, 15(3), 683-690.
- [39] Van Ruitenbeek, F.J.A., Pravesch, D., Van der Meer, F.D. et al., 2006. Mapping white micas and their absorption wavelengths using hyperspectral band ratios. *Journal of Remote Sensing of Environment*, 102, 211-222.
- [40] Sillitoe, R. H. 2010. Porphyry Copper Systems. *Journal of Economic Geology*, 105, 3-41.
- [41] Legg, C.A., 1994. Remote sensing and geographical information system geological mapping, Mineral Exploration and Mining. New York: Ellis Horwood. 166 p.
- [42] Vincent, R.K., 1997. Fundamentals of geological and environmental remote sensing. Prentice Hall, 370 p.
- [43] Mars, J.C., Rowan, L.C., 2006. Regional mapping of phyllic- and argillic-altered rocks in the Zagros magmatic arc, Iran, using Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) data and logical operator algorithms. *Journal of Geosphere* 2, 161-186.
- [44] Nouri, R., Jafari, M.R., Arain, M. and Feizi, F., 2012. Hydrothermal Alteration Zones Identification Based on Remote Sensing Data in the Mahin Area, West of Qazvin Province, Iran. *World Academy of Science, Engineering and Technology, International Journal of Environmental, Chemical, Ecological, Geological and Geophysical Engineering*, 6, 382-385.
- [45] Ferreir, G.; White, K.; Griffiths, G.; Bryant, R. and Stefofuli, M., 2002. The mapping of hydrothermal alteration zons on the island of Levos, Greece using an integrated remote sensing dataset. *International journal of remote sensing*, 23, 341-356.
- [46] Di Tommaso, I.D. and Rubinstein, N., 2007. Hydrothermal alteration mapping using ASTER data in the Infiernillo porphyry deposit, Argentina. *Journal of Ore Geology Reviews* 32, 275-290.
- [47] Mars, J.C. and Rowan, L.C., 2010. Spectral assessment of new ASTER SWIR surface reflectance data products for spectroscopic mapping of rocks and minerals. *Journal of Remote Sensing of Environment*, 114, 2011-2025.
- [48] Hewson, R.D., Cudahy, T.J., Mizuhiko, S., Ueda, K., Mauger, A.J. 2005. Seamless geological map generation using ASTER in the Broken Hill-Curnamona province of Australia. *Journal of remote sensing*, 9, 159-172.
- [49] Solovof A.P., Arkhipov A.Y., Bugrov C.A., Varabiev C.A., Gershman D.M., Grigorian C.V., Kviatkovcki E.M., Matveev A.A., Miliaev C.A., [28] Reimann, C., Filzmoser, P., Garrett, R.G., 2002. Factor analysis applied to regional geochemical data: problems and possibilities. *Journal of Applied Geochemistry*, 17, 185-206.
- [29] Reimann, C., Garrett, R.G., 2005. Geochemical background-concept and reality. *Journal of Science of the total Environment*, 350, 12-27.
- [30] Bounessaha, M., Atkinb, B.P., 2003, An application of exploratory data analysis (EDA) as a robust non parametric technique for geochemical mapping in a semi-arid climate, *Journal of Applied Geochemistry*. 18, 1185-1195.
- [31] Grunsky, E.C., 2006. The evaluation of geochemical survey data: data analysis and statistical methods using geographic information systems. In: J.R. Harris (Ed.), *GIS for the Earth Sciences*. Geological Association of Canada Special Publication 44, 229-283.
- [32] Chiprés, J. A., Castro-Larragoitia, J., Monroy, M. G. 2009. Exploratory and spatial data analysis (EDA-SDA) for determining regional background levels and anomalies of potentially toxic elements in soils from Catorce-Matehuala, Mexico. *Journal of Applied Geochemistry*, 24, 1579-1589.
- [33] Gabr, S., Ghulam, A., Kusky, T., 2010. Detecting areas of high-potential gold mineralization using ASTER data. *Journal of Ore Geology Reviews*. 38, 59-69.
- [34] Beiranvnd Pour, A., Hashim, M., 2011. Identification of hydrothermal alteration minerals for exploring of porphyry copper deposit using ASTER data, SE Iran. *Journal of Asian Earth Sciences* 42, 1309-1323.
- [35] Ranjbar1, H., Shahriari1, H., Honarmand, M., 2003. Comparison of ASTER and ETM+ data for exploration of porphyry copper mineralization: A case study of Sar Cheshmeh areas, Kerman, Iran. *Map Asia Conference*, © GISdevelopment.
- [36] Honarmand, M., Ranjbar, H., Shahabpour, J., 2011. Application of Spectral Analysis in Mapping Hydrothermal Alteration of the Northwestern Part of the Kerman Cenozoic Magmatic Arc, Iran. *Journal of Sciences, Islamic Republic of Iran* 22, 221-238.
- [37] Kruse, F.A., 1988. Use of airborne imaging spectrometer data to map minerals associated with hydrothermally altered rocks in the northern Grapevine Mountains, Nevada, and California. *Journal of Remote Sensing of Environment*, 24, 31-51.
- [38] Ben-Dor, E. and Kruse, F.A., 1994, The relationship between the size of spatial subsets of GER 63 channel scanner data and the quality of the Internal Average Relative Reflectance (IARR)

Nikolaev V.A., Perelman A.E., Shvarov U.V., UfaB.Y., Yaroshefski A.A., 1990. Handbook of geochemical exploration for mineral deposits, Moscow, Nedra,

[50] Mojtahedzadeh, S.H., Bemani, M., Malakzadeh, S., 2017, Geochemical Data Analysis of Irankouh (Isfahan) Pb- Zn Mine, Using Exploratory Data Analysis (EDA) and Fractal Methods. Journal of Analytical and Numerical Methods in Mining Engineering. Volume 7, Issue 13 , Page 71-90. (In Persian).

---

<sup>1</sup> <https://earthexplorer.usgs.gov/>