

## استفاده از مدل ترکیبی فاکتوری - فرکتالی جهت شناسایی پتانسیل های معدنی طلا، آرسنیک و آنتیموان در ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ بصیران، خراسان جنوبی، شرق ایران

احمد آریافر\*<sup>۱</sup>، وحید خسروی<sup>۱</sup>، محمد امین فرشادمهر<sup>۱</sup>، سعید یوسفی<sup>۱</sup>

۱- گروه مهندسی معدن، دانشکده مهندسی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران

پذیرش مقاله: ۱۳۹۸/۴/۵

تأیید نهایی مقاله: ۱۳۹۸/۱۱/۲۴

### چکیده

انتخاب مناسب ترین روش برای شناسایی مقادیر آنومالی از زمینه یکی از چالش های مهم در زمینه اکتشافات ژئوشیمیایی می باشد. در این خصوص روش هایی همچون روش های آماری، هوش مصنوعی، محاسبات نرم و روش های ترکیبی توسعه یافته اند که هر یک از این روش ها دارای مزایا و معایبی می باشند. هدف این تحقیق شناسایی پتانسیل های معدنی عناصر طلا، آرسنیک و آنتیموان در برگه ۱:۱۰۰۰۰۰ بصیران با استفاده از مدل ترکیبی فاکتوری- فرکتالی است. برای این منظور تعداد ۵۸۵ نمونه ژئوشیمیایی اخذ شده از رسوبات آبراهه ای که برای ۲۰ عنصر آنالیز شده است مورد مطالعه قرار گرفت. برای رسیدن به هدف ابتدا داده ها توسط روش فاکتوری R مد مطالعه و تعداد ۵ فاکتور استخراج گردید که با توجه به هدف، فاکتور سوم که ترکیب خطی از عناصر آنتیموان، آرسنیک و طلا بود انتخاب شد. مقادیر امتیازات فاکتوری محاسبه و نقشه امتیازات فاکتوری رسم شد. سپس روش فرکتالی غلظت- مساحت بر روی امتیازات فاکتوری مولفه سوم اعمال و مقادیر حد آستانه تعیین گردیدند و در نهایت براساس این مقادیر نقشه مدل ترکیبی فاکتوری- فرکتالی رسم شد. مقایسه این نقشه با نقشه فرکتالی غلظت - مساحت نشان داد که شدت بخشی آنومالی ها با مدل ترکیبی بهتر انجام شده است. به منظور اعتبارسنجی نتایج حاصله از مدل ترکیبی، تعداد ۶ نمونه کانی سنگین از منطقه اخذ و مطالعه شد. نتایج حاصله از مطالعات کانی سنگین بیانگر وجود ذرات طلا در این نمونه ها بود. مقایسه نتایج مطالعات کانی سنگین و مدل های آماری نشان می دهد که انطباق خوبی (بیش از ۹۰ درصد) بین نتایج وجود دارد زیرا که نمونه های کانی سنگین منطبق بر نواحی آنومالی می باشد.

**واژه های کلیدی:** بصیران، خراسان جنوبی، رسوبات آبراهه ای، ژئوشیمی ناحیه ای، مدل ترکیبی فاکتوری- فرکتالی.

## مقدمه

پیروزبخت و همکاران، ۱۳۸۷؛ افضل و همکاران، Afzal et al, 2013; Afzal et al, 2011؛ ۱۳۸۹؛ Cheng Cheng and Li, 2002; Carranza, 2009; Daya, 2014; Afzal et al, 2016 et al, 2011; Nazarpour et al, 2014; Parsa et al, 2016; روش فرکتالی غلظت - مساحت، در اصل توسط چنگ و همکاران در سال ۱۹۹۴ برای بررسی مشخصات الگوهای ژئوشیمیایی گسترش داده شده است. انواع مختلفی از این روش مانند روش غلظت - فاصله و روش طیف توان - مساحت (Afzal et al, 2011; Afzal et al, 2013; Cheng et al, 2011; Cheng et al, 1999) گسترش یافته است که همگی برای آنالیز داده‌های ژئوشیمیایی در مناظر ژئوشیمیایی با خاصیت فرکتالی نتایج مناسبی به همراه داشته‌اند. به‌طور کلی می‌توان عنوان کرد که روش فرکتالی عیار - مساحت یک تکنیک پایه‌ای برای مدل‌سازی آنومالی‌های ژئوشیمیایی است (Carranza, 2009). توزیع مولتی‌فرکتالی مربوط به عیارهای عناصر می‌تواند به معنای راهی برای تعیین کمی حدود آستانه‌ای و جوامع زمینه و آنومالی تلقی شود. در روش عیار - مساحت روابط نمایی بین عیار و مساحت جمعی متناظر، که بیانگر بعد فرکتالی الگوهای مورد بررسی می‌باشد، مورد توجه واقع شده است. آن چیزی که این روش را در مقایسه با سایر روش‌های فرکتالی متمایز می‌سازد و در واقع از برتری‌های این روش نسبت به سایر روش‌های فرکتالی محسوب می‌شود، سادگی در مفهوم و نحوه‌ی اجرای آن است. توزیع فضایی اغلب عناصر در یک محیط زمین‌شناسی - ژئوشیمیایی مفروض، محصول نهایی گروهی از حوادث زمین-شناسی چون فعالیت‌های آتشفشان‌ها، توده‌های نفوذی، رسوب‌گذاری، تکتونیک و کانی‌سازی است.

اکتشافات ژئوشیمیایی نقش مهمی در یافتن نواحی امید بخش معدنی بر عهده دارد. مهم‌ترین نتیجه تحلیل داده‌های ژئوشیمی اکتشافی جداسازی آنومالی‌های مختلف از یکدیگر و تعیین مقدار زمینه برای هر یک از عناصر می‌باشد (Mahvash Mohammadi et al, 2016). جداسازی آنومالی‌های ژئوشیمیایی از زمینه اصولاً بسیار مهم در اکتشافات ژئوشیمیایی به ویژه در مرحله پی‌جویی می‌باشد (Afzal et al, 2016b; Asadi Harooni et al, 2014; Chen et al, 2014; Afzal et al, Daya, 2014; Sun et al, 2016; 2016a). که در این زمینه روش‌های آماری نقش مهمی ایفا می‌نمایند (Chen et al, 2014). استفاده از تکنیک‌های آماری در پردازش داده‌های ژئوشیمیایی سبب بیشینه شدن اختلاف بین مقادیر آنومالی و روندهای ناحیه‌ای شده و بدین ترتیب سبب شناسایی دقیق‌تر آنومالی‌ها می‌شود (آریافر، ۱۳۸۳). روش‌های آمار و احتمال تک متغیره و چند متغیره به‌طور گسترده برای پردازش داده‌های ژئوشیمیایی مورد استفاده قرار گرفته است. این روش‌ها بر مبنای فراوانی مقادیر بوده و ارتباط مکانی مقادیر را که از اهمیت زیادی برخوردار هستند را در نظر نمی‌گیرد. زمین آمار و پردازش فرکتال، روش‌هایی بر مبنای مشخصات فراوانی داده‌ها توسعه یافته‌اند که امروزه در تشخیص و مدل‌سازی تغییرات داده‌های ژئوشیمیایی مورد استفاده قرار می‌گیرد (عزمی، ۱۳۷۹؛ Zuo et al, 2012). در میان روش‌های آماری، روش‌های تحلیل فاکتوری و هندسه فرکتال بیشتر مورد استفاده قرار گرفته است. محققین زیادی از این روش‌ها برای شناسایی پتانسیل‌های معدنی در ایران و سایر نقاط جهان استفاده کرده‌اند (پولادزاده، ۱۳۷۹؛ آریافر، ۱۳۸۳؛

شدت بخشیدن به آنومالی‌های ژئوشیمیایی بیشتر مورد توجه قرار گرفته است اما تاکنون مدل‌های ترکیبی محدودی مورد استفاده قرار گرفته است که از آن جمله می‌توان به روش ترکیبی نروفازی و ژنتیک الگوریتم (Ziaii et al, 2012)، مدل ترکیبی مولتی فرکتال و شبکه عصبی مصنوعی (Zhao et al, 2015)، مدل ترکیبی فرکتال و آماره U (Mahvash Mohammadi et al, 2016)، مدل ترکیبی فرکتال - آنالیز موجک (Afzal et al, 2016b) روش ترکیبی فاکتوری - عصبی (Mohammadzadeh and Nasser, 2017)، مدل ترکیبی آنالیز تکین محلی و شبیه‌سازی گوسی پیوسته (Wang and Zuo, 2018) اشاره نمود. سوابق مطالعات نشان می‌دهد که عمدتاً روش‌های آماری تک و چند متغیره با روش‌های هوش مصنوعی به صورت ترکیبی استفاده گردیده‌اند. در این تحقیق هدف اصلی به کارگیری مدل ترکیبی فاکتوری - فرکتال به منظور شدت بخشی به آنومالی‌های ژئوشیمیایی عناصر طلا، آنتیموان و آرسنیک در ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ بصیران در ۱۸۰ کیلومتری غرب شهر بیرجند در خراسان جنوبی است. با توجه به شواهد و نشانه‌های موجود در منطقه، از نظر زمین‌شناسی اقتصادی غنی‌شدگی عناصر مهم به خصوص پاراژنهای طلا در ورقه‌ی بصیران قابل پیش‌بینی می‌باشد. اهمیت این عناصر و پتانسیل معدنی بالای منطقه، بررسی و پردازش دقیق داده‌های حاصل از نمونه‌برداری رسوبات آبراهه‌ای انجام شده را جهت دستیابی به مناطق امیدبخش معدنی ضروری می‌سازد.

#### منطقه مورد مطالعه

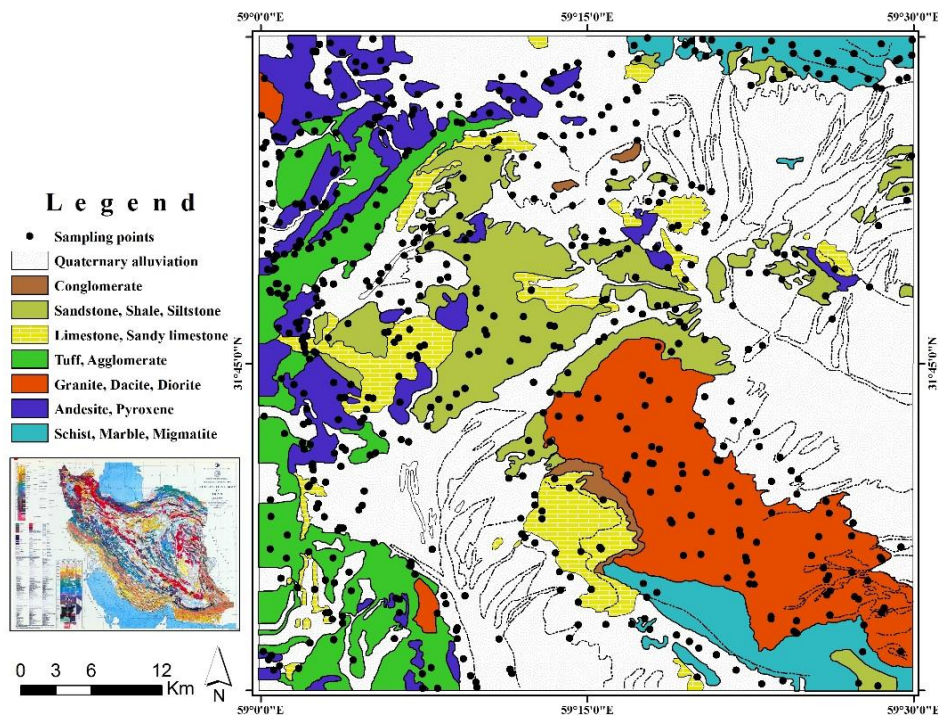
ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ بصیران در شرق ایران، استان خراسان جنوبی و در محدوده جغرافیایی ۳۱ درجه و ۳۰ دقیقه تا ۳۲ درجه عرض شمالی و ۵۹ درجه

در طی این حوادث یا فرایندها برخی عناصر غنی - شده و احتمالاً تشکیل مواد در حد عیار معدنی می‌دهند و برخی دیگر نیز پراکنده می‌گردند (حسنی پاک و شرف‌الدین، ۱۳۹۰). ویژگی‌های فضایی نمایش داده شده به وسیله‌ی عناصر مرتبط با کانسار، خطوط راهنمایی را جهت فعالیت‌های اکتشافی فراهم می‌کند. با توجه به اینکه جوامع کانی‌سازی شده از فرایندهایی متفاوت با فرایندهای به وجود آورنده‌ی زمینه منشأ یافته‌اند، می‌توان انتظار داشت که این جوامع دارای مشخصات توزیع مکانی و ساختار شکلی متفاوتی از هم باشند. یکی از این ویژگی‌ها بعد فرکتالی داده‌های ژئوشیمیایی است (Carranza, 2009). یکی از روش‌های چندمتغیره‌ی پردازش داده‌های ژئوشیمیایی، تحلیل فاکتوری است که می‌تواند نقش به‌سزایی در تعیین نواحی آنومالی داشته باشد (Shiva and Atkin, 2004; Keykha, Hoseinpoor and Aryafar, 2014; Shahi et al, 2015; Hoseinpoor Keykha and Aryafar, 2016). در روش تحلیل فاکتوری هدف، کاهش بعد و نیز یافتن ارتباط میان متغیرهاست (Yap, 2012). این روش برای نخستین بار در سال ۱۹۶۶ توسط نیکول و همکاران در اکتشافات ژئوشیمیایی رسوبات آبراهه‌ای به کار گرفته شده است. هدف از تجزیه و تحلیل فاکتوری تشخیص اصلی‌ترین متغیرهای کنترل‌کننده از متغیرهای فرعی و نیز کاهش بعد و یافتن ارتباط میان متغیرها می‌باشد. بنابراین می‌توان با حداقل تعداد متغیر، بیشترین تغییرپذیری را توجیه نمود (آریافر، ۱۳۸۳؛ حسنی پاک و شرف‌الدین، ۱۳۹۰). این روش تاکنون توسط محققین زیادی مورد استفاده قرار گرفته است (Keykha Hoseinpoor and Shiva, 1998; Aryafar, 2014; Keykha Hoseinpoor and Aryafar, 2016; Aryafar and Doulati, 2013; Ardejani, 2013). امروزه مدل‌های ترکیبی برای

به صورت کانی‌های درشتی در سنگ به وجود آمده است. نهشته‌های ژوراسیک در محدوده ورقه بصیران از نوع آواری و کم عمق است و با ریخت تپه ماهوری بخش وسیعی از ناحیه به خصوص بخش مرکزی و جنوب غربی برگه را پوشانده است (سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۱۳۷۹؛ بهروزی و ناظر، ۱۳۷۱). ردیف سنگ‌های کرتاسه در ورقه بصیران مربوط به واحد زمانی کرتاسه پیشین با نهشته‌های آواری و کربناتی به سن آپسین و آلبین و کرتاسه پسین با رخساره شیل، آهک ماسه‌ای به سن مائیس‌تریشتین است بدین ترتیب نبود چینه‌ای مربوط به بخش بزرگی از کرتاسه جزو مشخصات چینه‌ای در این ناحیه محسوب می‌گردد. واحدهای آتشفشانی ائوسن در ورقه بصیران به وسیله توده‌های گرانیتی، گرانودیوریتی و دیوریتی و همچنین دایک‌ها و توده‌های کوچک داسیتی برید شده‌اند. در تماس این توده‌ها به خصوص زائده‌های داسیتی، با سنگ‌های آذرآواری و آتشفشانی ائوسن کانی‌هایی از قبیل سرب، مس، آهن و طلا تشکیل گردیده است. در شمال غرب برگه بصیران روانه‌های تیره رنگ شامل پیروکسن آندزیت، آندزیت بازالت و به همراه توف‌های برشی آندزیتی بر روی سنگ‌های گوناگون قرار گرفته است. بخش شمال شرقی و جنوب غربی برگه به خصوص دامنه‌های کوهستان شاه کوه دارای پوششی از آبرفت است. به هنگام برداشت‌های زمین‌شناسی برای تهیه نقشه زمین-شناسی این منطقه در مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ به نشانه‌هایی از مواد معدنی برخورد گردیده است که عبارت از نشانه‌هایی از ترکیبات مس در سنگ‌های آتشفشانی پالئوژن به خصوص در مجاورت دایک و توده‌های نفوذی می‌باشند. در بخش غربی برگه، دایک‌های اسیدی در امتداد گسل‌ها به خصوص در سنگ‌های آتشفشانی پالئوژن نفوذ نموده که

تا ۵۹ درجه و ۳۰ دقیقه طول شرقی قرار دارد. این ورقه قطعه مرکزی چهارگوش زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ دهسلم را تشکیل می‌دهد. منطقه مورد مطالعه از نظر ساختمانی در محدوده بلوک لوت و منطقه فلیش-کمر بند افیولیتی شرق ایران قرار گرفته است و در نتیجه از نظر ساختار زمین-شناسی ویژگی و اختصاصات این دو بخش را دارا می‌باشد (شکل ۱). رسوبات مزوزوئیک و ترشیاری در پهنه وسیعی از بخش مرکزی شرق و غرب ناحیه رخنمون دارند. محل رخنمون قدیمی‌ترین سنگ‌ها به جنوب شرقی این ورقه منحصر است که از سنگ‌های دگرگونه‌ای با عنوان مجموعه دگرگونی شرق دهسلم تشکیل یافته است. در بخش شمال شرقی این ورقه بخش کوچکی از منطقه فلیش-کمر بند افیولیتی شرق ایران دیده می‌شود که محل اتصال بلوک لوت و منطقه فلیش می‌باشد. سنگ‌های این ناحیه تحت‌تأثیر دگرگونی قرار گرفته که شدت آن در بخش‌های مختلف متفاوت است. این مجموعه به صورت یک آمیزه تکتونیکی در آمده که واحدهای آن تنها براساس شدت و ضعف دگرگونی تقسیم‌بندی شده است. توده‌هایی از گرانیت، گرانودیوریت و دیوریت در بخش‌های مختلف ناحیه شناسایی شده که به مزوزوئیک و ترشیاری نسبت داده شده است. مجموعه دگرگونی دهسلم در جنوب شرق ناحیه در دامنه‌های جنوبی شاهکوه با روند شمال غرب - جنوب شرق بیرون زدگی دارند و از دو رخساره توفی و کربناتی تشکیل یافته است. در جنوب کوهستان شاهکوه مجموعه دگرگونی فوق توسط توده گرانیتی و پگماتیتی مربوط به آن قطع می‌گردد. رگه‌های کوارتزی به ویژه در نزدیکی توده گرانیتی فراوان بوده و فراهم آمدگی آن‌ها به شکل رگه و عدسی است و در مجاورت آن‌ها کانی‌های ترمیک از جمله آندالوزیت، کوردیوریت و مسکویت

کانی‌سازی طلا را در بر دارند (سازمان زمین-شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۱۳۷۹؛ بهروزی و ناظر، ۱۳۷۱).



شکل ۱: نقشه زمین‌شناسی ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ بصیران (نقاط سیاه رنگ موقعیت نقاط نمونه‌برداری ژئوشیمی آبراه‌ای است.)

## مواد و روش‌ها

### آماده‌سازی و پردازش داده‌های ژئوشیمیایی منطقه مورد مطالعه

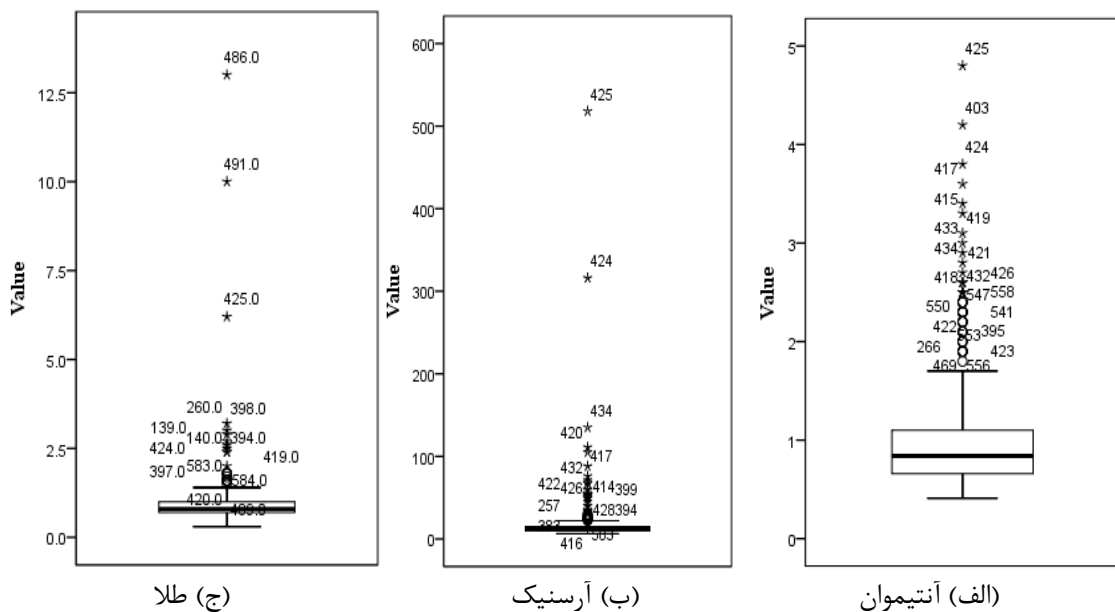
تعداد ۵۸۵ نمونه‌ی ژئوشیمیایی به روش رسوبات آبراه‌ای توسط سازمان صنعت، معدن و تجارت استان خراسان جنوبی از منطقه‌ی مورد مطالعه برداشت و برای ۲۰ عنصر آنتیموان، آرسنیک، طلا، باریوم، استرانسیم، منگنز، تیتانیوم، کروم، روی، مس، آهن، کبالت، نقره، قلع، مولیبدن، نیکل، سرب، ولفرام، جیوه و بیسموت آنالیز گردید (سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۱۳۷۹). در این تحقیق این داده‌ها مورد مطالعه قرار گرفته‌اند. در ابتدا به منظور بررسی اعتبار داده‌ها مقدار خطای آنالیز با استفاده از نمونه‌های

تکراری محاسبه گردید که مقدار آن کمتر از ۱۰ درصد برای کلیه عناصر می‌باشد. در ادامه داده‌های سنسورد تصحیح و مقادیر خارج از ردیف جایگزین شدند. در شکل ۲ نمودار جعبه‌ای مقادیر خارج از ردیف برای آنتیموان، آرسنیک و طلا نمایش داده شده است. این مقادیر اصلاح و جایگزین شدند. محاسبه شاخص‌های مرکزی و پراکندگی آماری داده‌ها نشان داد که توزیع عناصر مورد بررسی بیشتر به توزیع لاگ نرمال نزدیک هستند (جدول ۱) که در ادامه نرمال‌سازی داده‌ها به روش لگاریتمی انجام شد. در شکل ۳ نمودارهای Q-Q پلات مربوط به سه عنصر آنتیموان، آرسنیک و طلا نمایش داده شده است. همان‌طور که در این شکل مشاهده می‌شود توزیع

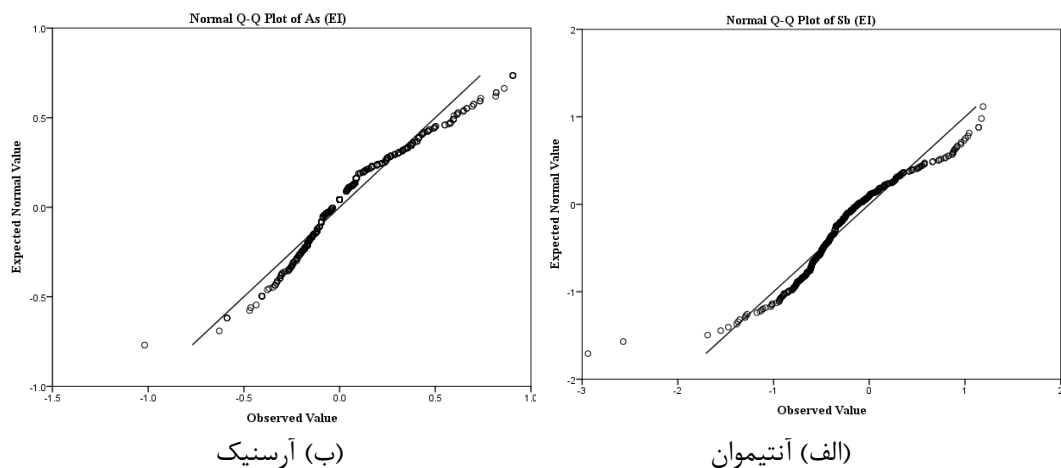
داده‌ها تقریباً نرمال گردیده است. با توجه به زمین‌شناسی اقتصادی منطقه مورد مطالعه و هدف تحقیق حاضر، مقادیر غلظت سه عنصر طلا، آنتیموان و آرسنیک جهت مطالعه انتخاب شد.

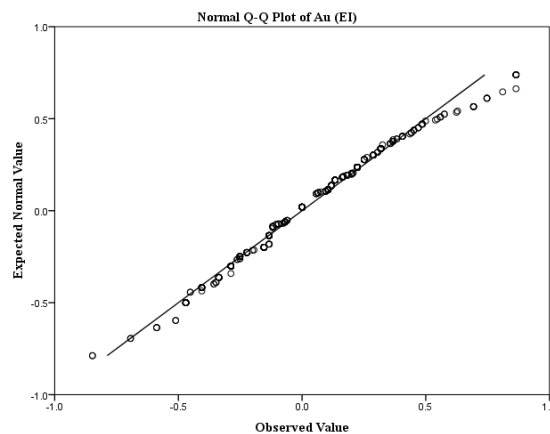
جدول ۱: پارامترهای آماری عناصر طلا، آرسنیک و آنتیموان در نمونه‌های رسوبات آبراهه‌ای منطقه مورد مطالعه

پارامترهای آماری	طلا (ppb)	آنتیموان (ppm)	آرسنیک (ppm)
میانگین	۰/۹۱۶۰۷	۰/۹۸۷۷۳	۱۶/۵۷۱
میانه	۰/۸۰۰۰۰	۰/۸۴۰۰۰	۱۲
مد	۰/۷۰۰	۱/۱	۱۲
انحراف معیار	۰/۷۴۴۹۰۲	۰/۵۵۰۲۹۸	۲۶/۸۹۱۳
واریانس	۰/۵۵۵	۰/۳۰۳	۷۲۳/۱۴۲
چولگی	۱۱/۳	۲/۶۴۰	۱۳/۹۳۵
کشدگی	۱۶۰/۰۶۸	۹/۶۱۸	۲۳۴/۱۱۷



شکل ۲: نمودار جعبه‌ای مقادیر خارج از ردیف برای سه عنصر آنتیموان، آرسنیک و طلا در منطقه مورد مطالعه





(ج) طلا

شکل ۳: نمودار Q-Q پلات برای سه عنصر آنتیموان، آرسنیک و طلا بعد از نرمال سازی

هریک از مقادیر  $c_1$  و  $c_2$  ثابت‌های دو رابطه قبل هستند،  $\alpha_1$  نمای مربوط به زمینه و  $\alpha_2$  نمای مربوط به آنومالی می‌باشد. اگر یک ترسیم از مقادیر لگاریتمی  $A(\rho)$  در مقابل مقادیر لگاریتمی  $\rho$  انجام گیرد، مقادیر مربوط به ثابت‌ها و نماهای مذکور به راحتی به دست می‌آید. مدل مولتی فرکتالی، در واقع شامل فرکتال‌های مرتبط با هم از نظر فضایی می‌باشد که توسط یک طیف فرکتالی مشخص می‌شود. از این رو نقاط شکست در خط حاصل از برازش به نقاط ترسیم شده در نمودار تمام لگاریتمی غلظت - مساحت، متناظر با نقطه تغییر بعد فرکتالی می‌باشند و می‌توانند به عنوان مقادیر آستانه‌ای به منظور جداسازی محدوده‌های آنومالی از زمینه بر روی نقشه ژئوشیمیایی مورد استفاده قرار گیرند (Agterberg and Chen, 1999).

جداسازی نواحی آنومالی از زمینه توسط مدل

ترکیبی فاکتوری - فرکتالی

یکی از روش‌های چندمتغیره‌ی پردازش داده‌های ژئوشیمیایی، تحلیل فاکتوری است که می‌تواند نقش بسزایی در تعیین نواحی آنومالی داشته باشد (Shiva and Atkin, 2004). در روش تحلیل فاکتوری هدف، کاهش بعد و نیز یافتن ارتباط

جدایش آنومالی از زمینه با استفاده از روش

فرکتالی غلظت - مساحت

فرایندهای زمین‌شناسی شامل کانی‌سازی، رسوب گذاری، ولکانیسم، فعالیت‌های آذرین و ... مشخصه‌های خودتشابهی دارند و در نتیجه فرکتال یا مولتی فرکتال تلقی می‌شوند (Cheng and Li, 2002; Li and Cheng, 2006). الگوهای توزیع ژئوشیمیایی عناصر نیز با پدیده‌های مستقل از مقیاس و خودتشابه مرتبط می‌باشند زیرا که پدیده‌های زمین‌شناسی به وجود آورنده این الگوها بوده است. مدل عیار - مساحت بیان می‌کند که مساحت  $A(\rho)$  که شامل مقادیر  $\rho$  (در محدوده کمتر یا مساوی از یک مقدار آستانه‌ای از پیش تعیین شده  $v$ ) می‌باشد، از یک رابطه نمایی به صورت رابطه ۱ تبعیت می‌کند:

رابطه ۱)

$$A(\rho \leq v) = c_1 \rho^{-\alpha_1}$$

و برای مساحت‌های با مقدار عیار  $\rho$  بالاتر از مقدار آستانه‌ای  $v$ ، رابطه نمایی به صورت رابطه ۲ بیان می‌شود:

رابطه ۲)

$$A(\rho > v) = c_2 \rho^{-\alpha_2}$$

روی این نمودار، اقدام به ترسیم نقشه مدل ترکیبی فاکتوری - فرکتالی می‌گردد. که بر روی این نقشه‌ها نواحی آنومال به خوبی شناسایی می‌گردند. مدل‌های ترکیبی عموماً برای شدت بخشیدن به آنومالی‌های ژئوشیمیایی به کار گرفته می‌شوند. در ادامه به نحوه اجرای این مدل ترکیبی جهت شناسایی پتانسیل‌های معدنی آنتیموان، آرسنیک و طلا در برگه ۱:۱۰۰۰۰۰ بصیران پرداخته شده است.

### نتایج

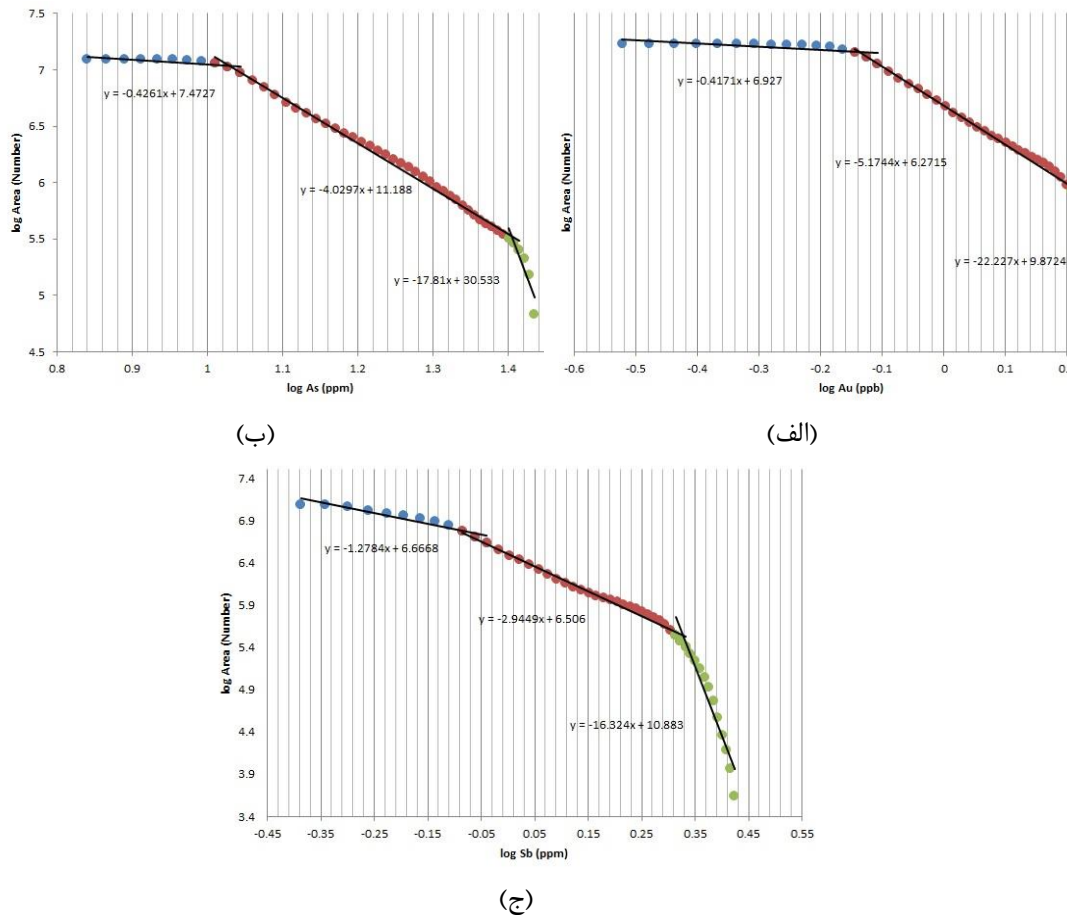
برای اجرای روش فرکتالی غلظت - مساحت بر روی داده‌های برگه موردنظر ابتدا داده‌ها به روش عکس فاصله درونیایی شدند. هرچند این روش خاصیت برداری رسوبات آبراهه‌ای را در نظر نمی‌گیرد اما می‌توان از آن برای اجرای روش غلظت - مساحت استفاده نمود (Carranza, 2009). پس از درونیایی نمونه‌ها برای عناصر مختلف، با استفاده از نرم‌افزار متلب مساحت‌های تجمعی مربوط به عیارهای مختلف محاسبه گردید. با توجه به مطالعات انجام شده و ترسیم نقاط مختلف، تعداد ۵۰ عیار با فواصل مساوی برای این کار در نظر گرفته شد. سپس برای عناصر مختلف، زوج‌های عیار و مساحت تجمعی به دست آمده در نمودارهای تمام لگاریتمی ترسیم گردید. شکل ۵ نمودارهای به دست آمده را برای عناصر آنتیموان، آرسنیک و طلا نمایش داده است. شیب هر خط برازش شده بر نقاط، برابر با بعد فرکتالی آن خط است؛ بنابراین هر خط راست نشان دهنده یک جامعه می‌باشد و نقاط تقاطع این خطوط نشان دهنده نقطه جدایش جوامع زمینه و آنومالی و یا زیر مجموعه‌های آنها می‌باشد. براساس نقاط شکست خطوط در نمودارها، حدود آستانه‌ای هر عنصر به دست آمد که بسته به مقدار به دست

میان متغیرهاست (Yap, 2012). هدف از تجزیه و تحلیل فاکتوری تشخیص اصلی‌ترین متغیرهای کنترل کننده از متغیرهای فرعی و نیز کاهش بعد و یافتن ارتباط میان متغیرها می‌باشد. بنابراین می‌توان با حداقل تعداد متغیر، بیشترین تغییرپذیری را توجیه نمود (حسنی پاک و شرف الدین، ۱۳۹۰). در این روش ابتدا باید ماتریس ضرایب همبستگی عناصر محاسبه و سپس متغیرها به نرمال استاندارد تبدیل شوند. سپس با در نظر گرفتن معیارهایی همچون مقادیر ویژه بزرگتر از ۱، درصد واریانس تجمعی و نمودار خزش اقدام به انتخاب تعداد فاکتورهای مناسب گردد. با در نظر گرفتن یک سطح بارفاکتوری مطمئن، ترکیب‌های خطی مناسب در قالب فاکتور استخراج می‌گردد. در این خصوص شاخص مشارکت پذیری<sup>۱</sup> میزان تغییرپذیری هر متغیر را توسط فاکتورهای استخراج شده بیان می‌نماید. در مرحله بعد با دوران فاکتورها بهترین ترکیب خطی از عناصر که با یکدیگر پارائز می‌باشند شناسایی می‌گردد. در نهایت با محاسبه مقدار امتیازات فاکتوری اقدام به رسم نقشه‌های ژئوشیمیایی امتیازات فاکتوری می‌گردد. برای کسب اطلاعات بیشتر در مورد روش فاکتوری به (آریافر، ۱۳۸۳؛ حسنی پاک و شرف الدین، ۱۳۹۰) مراجعه گردد. بعد از تهیه نقشه‌های امتیازات فاکتوری، نقشه مربوط به فاکتور هدف (در این تحقیق فاکتور سوم) انتخاب می‌گردد. سپس روش فرکتالی غلظت - مساحت بر روی مقادیر امتیازات فاکتوری اعمال می‌گردد (در این مرحله به جای مقادیر غلظت از مقادیر امتیازات فاکتوری در ترسیم نمودارها استفاده می‌شود بنابراین نمودار ترسیم شده را باید نمودار بارفاکتوری - مساحت نامید) و نمودارهای نیمه لگاریتمی بارفاکتوری - مساحت ترسیم می‌شود. با استخراج حدود آستانه‌ای از



شکل مشاهده می‌شود نواحی آنومالی شدید برای این سه عنصر تقریباً در گوشه شمال غربی محدوده مورد مطالعه قرار گرفته‌اند که با نواحی آنومالی ضعیف کنتراست زیادی ندارد.

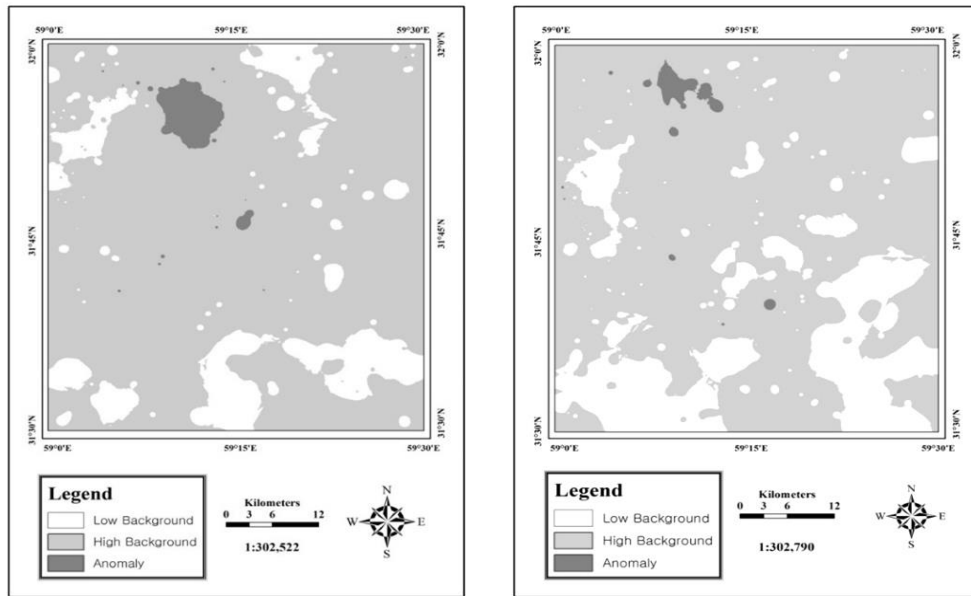
آمده و مقدار عنصر موردنظر در نمونه‌ها و زمین-شناسی منطقه، جوامع زمینه و آنومالی مشخص گردیدند (جدول ۲). با توجه به مقادیر به دست آمده نقشه‌های ژئوشیمیایی عناصر ترسیم گردیده است (شکل ۶). همان‌طور که در نقشه‌های این



شکل ۵: نمودارهای تمام لگاریتمی غلظت-مساحت برای سه عنصر: (الف) طلا، (ب) آرسنیک، (ج) آنتیموان.

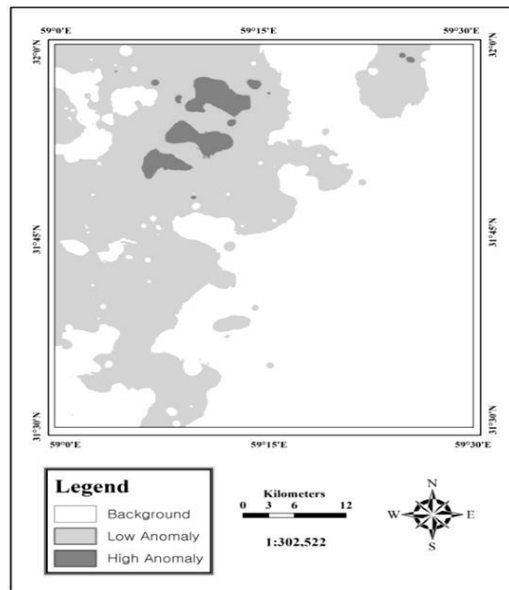
جدول ۲: حدود آستانه‌ای به دست آمده از روش غلظت-مساحت برای سه عنصر آنتیموان، آرسنیک و طلا

حد آستانه‌ای اول	حد آستانه‌ای دوم	عنصر
۱۰/۶۴۵	۲۵/۵۴	As
۰/۷۱۶	۱/۶۱۲	Au
۰/۸۶۸	۲/۱۰۴	Sb



(ب)

(الف)



(ج)

شکل ۶: جداسازی مناطق آنومالی از زمینه عناصر: (الف) طلا، (ب) آرسنیک و (ج) آنتیموان به روش فرکتالی غلظت - مساحت

ها توسط روش آمار چند متغیره تحلیل فاکتوری مطالعه و سپس روش فرکتالی غلظت - مساحت بر روی نقشه امتیازات فاکتوری اعمال گردد.

در ادامه برای شدت بخشی به آنومالی‌های شناسایی شده توسط روش فرکتال غلظت - مساحت از مدل ترکیبی فاکتوری - فرکتالی استفاده گردیده است. در این راستا ابتدا باید داده -

مقادیر منفی امتیازات فاکتوری، نمودارهای نیمه لگاریتمی ترسیم گردیدند. ترسیم خطوط برازش به صورت چشمی انجام شد. سپس نقشه مربوط به مدل ترکیبی فاکتوری- فرکتالی ترسیم گردید (شکل ۸). با مقایسه نقشه‌های ترسیم شده در شکل‌های ۸ و ۶ به وضوح مشاهده می‌شود که نواحی آنومالی شناسایی شده توسط مدل ترکیبی نسبت به نواحی شناسایی شده توسط روش فرکتالی غلظت- مساحت از شدت بیشتری برخوردار است به عبارتی دیگر شدت بخشی آنومالی‌ها به منظور بارزسازی بیشتر از زمینه در مدل ترکیبی به خوبی انجام گردیده است. بنابراین می‌توان گفت که مدل ترکیبی از توانایی بالایی برای استخراج نواحی آنومالی برخوردار است.

با انجام تحلیل فاکتوری بر روی داده‌های مورد نظر و با در نظر گرفتن معیارهای مقادیر ویژه بزرگتر از واحد و درصد واریانس جمعی ۰/۷۵، تعداد ۵ فاکتور استخراج گردید. بارهای فاکتوری و میزان تغییرات توجیه شده توسط هر فاکتور در جدول ۳ نشان داده شده است. مطابق جدول ۳، فاکتور سوم عناصر مورد مطالعه یعنی طلا، آرسنیک و آنتیموان را توجیه می‌کند. در ادامه نقشه امتیازات فاکتوری ترسیم گردید. برای تشخیص مناطق آنومالی در نقشه امتیازات فاکتوری فاکتور سوم، روش فرکتال غلظت - مساحت بر روی نقشه امتیازات فاکتوری اعمال گردید. شکل ۷ نمودار مربوط به ترسیم امتیازات فاکتوری به مساحت جمعی مربوطه را نمایش می‌دهد. لازم به ذکر است که به دلیل برخی

جدول ۳: بارهای فاکتوری و درصد تغییرات توجیه شده توسط هر فاکتور.

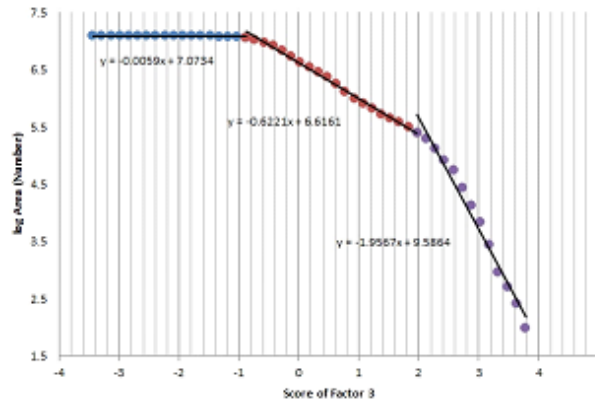
عنصر	فاکتور اول	فاکتور دوم	فاکتور سوم	فاکتور چهارم	فاکتور پنجم
Zn	۰/۸۷۵				
Pb	۰/۷۷۵				
Ag	۰/۸۰۴				
Cu	۰/۶۰۱				
Cr					۰/۸۰۸
Ni					۰/۶۸۳
W				۰/۹۱۱	
Co				۰/۷۲۵	
As			۰/۸۱۹		
Sb			۰/۸۰۷		
Au			۰/۶۳۴		
Ti		۰/۸۶۸			
Mn		۰/۸۵۶			
Fe		۰/۸۸۵			
درصد واریانس	۲۱/۵۶۴	۱۷/۱۹۵۳	۱۳/۵۰۵	۱۱/۳۴۴	۱۰/۸۷۲

برداشت گردید. بعد از آماده‌سازی، نمونه‌ها مورد مطالعه قرار گرفتند. وجود ذرات طلا در ۶ نمونه اخذ شده تأیید گردید. موقعیت این ۶ نمونه به

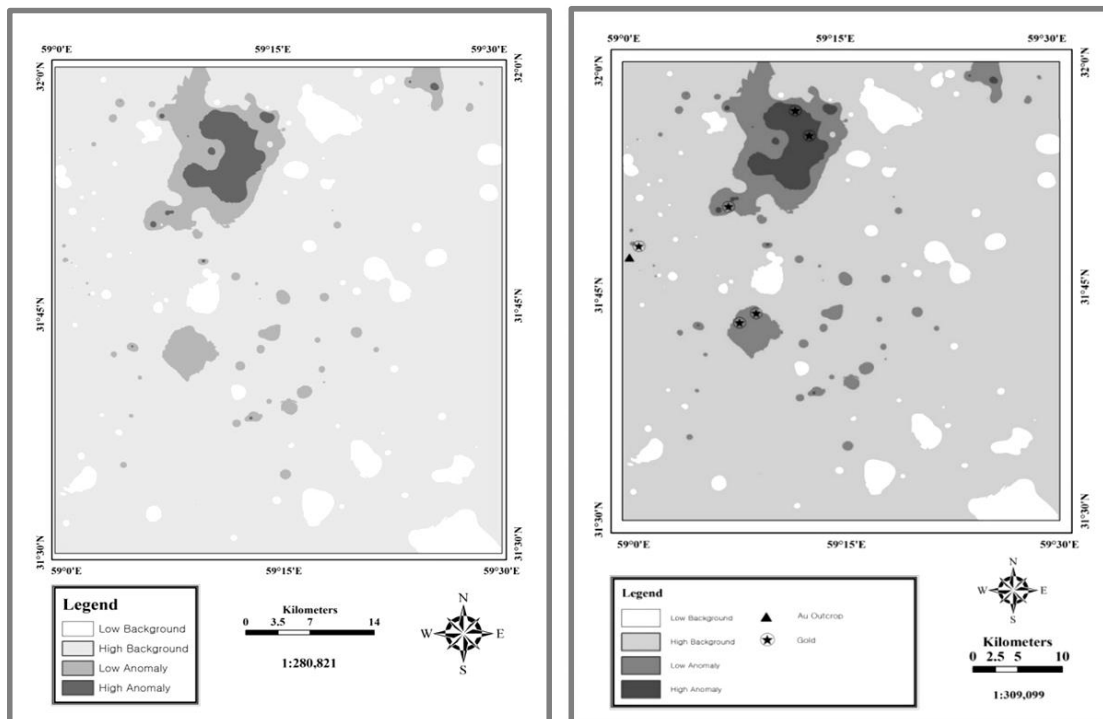
به منظور اعتبارسنجی نتایج حاصل از مدل ترکیبی فاکتوری- فرکتالی در برگه ۱:۱۰۰۰۰۰ بصیران، تعداد ۶ نمونه کانی سنگین از منطقه

دقیقاً منطبق بر نواحی آنومال شناسایی شده توسط روش ترکیبی فاکتوری- فرکتالی می‌باشد.

همراه یک رخنمون بر روی نقشه شکل ۸ نشان داده شده است. همان‌طور که در این شکل مشاهده می‌شود موقعیت نمونه‌های کانی سنگین



شکل ۷: نمودار نیمه لگاریتمی امتیاز فاکتوری- مساحت برای فاکتور سوم



(الف)

(ب)

شکل ۸: الف: جداسازی مناطق آنومالی از زمینه برای عناصر آنتیموان، آرسنیک و طلا با استفاده از مدل ترکیبی فاکتوری- فرکتالی و ب: اعتبارسنجی نتایج مدل ترکیبی فاکتوری- فرکتالی با مطالعات کانی سنگین

فاکتوری- فرکتالی که یک ایده جدید می‌باشد انجام شد. برای این منظور تعداد ۵۸۵ نمونه ژئوشیمیایی رسوبات آبراه‌های مورد مطالعه قرار

### نتیجه‌گیری

در این مقاله شناسایی پتانسیل‌های معدنی طلا، آرسنیک و آنتیموان براساس مدل ترکیبی

امتیازات فاکتور سوم استخراج شد. در نهایت نقشه نواحی پتانسیل دار برای عناصر طلا، مولیبدن و آرسنیک براساس مدل ترکیبی رسم شد. مقایسه نتایج مدل ترکیبی با نتایج فرکتالی غلظت-مساحت نشان داد که مدل ترکیبی در بارزسازی آنومالی‌های این عناصر موفق‌تر بوده است. در پایان به منظور اعتبارسنجی نتایج مدل ترکیبی مطالعات کانی سنگین (۶ نمونه) انجام گردید که وجود ذرات طلا در این نمونه‌ها و انطباق کامل نمونه‌های کانی سنگین با نواحی آنومال شناسایی شده توسط مدل ترکیبی فاکتوری- فرکتال موید این است که این مدل یک ابزار توانمند در جداسازی آنومالی از زمینه و شدت بخشی آنومالی‌های معدنی است.

سازمان صنعت، معدن و تجارت استان خراسان جنوبی که داده‌های لازم برای انجام این تحقیق را در اختیارمان قرار دادند، ابراز می‌نماییم.

گرفت. در ابتدا به منظور شناسایی مقدماتی پتانسیل‌های این عناصر در منطقه، داده‌ها به روش فرکتال غلظت - مساحت مورد مطالعه قرار گرفت و نواحی آنومال شناسایی گردید. در ادامه به منظور شدت بخشی به این آنومالی‌ها مدل ترکیبی فاکتوری- فرکتالی اجرا شد. در این راستا ابتدا داده‌ها توسط روش چند متغیره فاکتوری مطالعه و تعداد ۶ فاکتور با توجه بیش از ۷۵ درصد تغییرات در منطقه استخراج شد. سپس با توجه به هدف تحقیق فاکتور سوم که ترکیب خطی مناسب از عناصر طلا، مولیبدن و آرسنیک بود انتخاب گردید و مقادیر امتیازات این فاکتور محاسبه شد. در ادامه روش فرکتال بر روی مقادیر امتیازات فاکتور ۳ اعمال و نمودار نیمه لگاریتمی امتیاز فاکتوری- مساحت ترسیم گردید و حدود آستانه

### سیاس‌گذاری

در پایان مراتب قدردانی خود را از کارشناسان سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور و

### پانوشت

#### 1-Communalilty

-بهریزی، ا. و ناظر، ن.خ.، ۱۳۷۱. نقشه زمین-شناسی بصیران به مقیاس ۱:۱۰۰,۰۰۰، انتشارات سازمان زمین‌شناسی کشور.  
-پیروزبخت، م.، احدی، م. و اسفندیاری، ب.، ۱۳۸۷. کاربرد روش فرکتالی عیار - مساحت جهت تعیین و جداسازی ناهنجاری‌ها از زمینه در نقشه‌های ژئوشیمیایی رسوبات آبراه‌ای (مطالعه موردی: برگه ۱:۵۰۰۰۰ سه چاهون)، دومین کنفرانس مهندسی معدن ایران، دانشگاه تهران، تهران.

#### منابع

-آریافر، ا.، ۱۳۸۳. تحلیل داده‌های ژئوشیمی اکتشافی برای شناسایی نواحی امید بخش ورقه ۱:۵۰۰۰۰ خوسف، پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد اکتشاف معدن، دانشگاه صنعتی شاهرود، ۱۸۰ ص.  
-افضل، پ.، خاکزاد، ا.، معارف وند، پ.، رشیدنژاد عمران، ن. و فداکار القلندیس، ی.، ۱۳۸۹. استفاده از روش فرکتالی عیار - حجم در جدایش زون‌ها در کانسارهای پورفیری، نشریه علوم زمین، شماره ۷۸، ۱۶۸ - ۱۷۲.

- سازمان زمین‌شناسی کشور، ۱۳۷۹. گزارش اکتشافات ژئوشیمیایی سیستماتیک در محدوده برکه ۱:۱۰۰،۰۰۰ بصیران، وزارت صنایع و معادن.
- عزمی، ح.، ۱۳۷۹. اکتشاف ژئوشیمیایی ناحیه‌ای در محدوده برکه ۱:۵۰،۰۰۰ کانی سیب، پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد اکتشاف معدن، دانشگاه تهران.
- Afzal, P., FadakarAlghalandis, Y., Khakzad, A. and Moarefvand, P. and RashidnejadOmran, N., 2011. Delineation of mineralization zones in porphyry Cu deposits by fractal concentration – volume modeling", *Journal of Geochemical Exploration*, v. 18, p. 220-232.
- Afzal, P., Harati, H., Fadakar Alghalandis, Y. and Yasrebi, A.B., 2013. Application of spectrum–area fractal model to identify of geochemical anomalies based on soil data in Kahang porphyry-type Cu deposit, Iran. *Chemie der Erde/Geochemistry*, v. 533, p.73-543.
- Afzal, p., Ahmadi, K. and Rahbar, K., 2016b. Application of fractal-wavelet analysis for separation of geochemical anomalies, *Journal of African Earth Sciences*, doi: 10.1016/j.jafrearsci.2016.08.017.
- Afzal, p., Mirzaei, M., Yousefi, M., Adib, A., Khalajmasoumi, M., Zia Zarifi, A., Foster, P. and Yasrebi, A.B., 2016a. Delineation of geochemical anomalies based on stream sediment data utilizing fractal modeling and staged factor analysis, *Journal of African Earth Sciences*, v. 119, p. 139-149.
- Agterberg, F.P. and Cheng, Q., 1999. Introduction to Special Issue on Fractals and Multifractals, *Computers & Geosciences*, v. 25, p. 947-948.
- Aryafar, A. and Doulati Ardejani, F., 2013, R-mod factor analysis, a popular multivariate statistical technique to evaluate water quality in Khaf-Sangan basin, Mashhad, Northeast of Iran, *Arabian Journal of Geosciences*, v. 6(3), p. 893-900.
- Asadi Harooni, H., Kianpouryan, S., Lu, Y.J. and 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*, v. 145, p. 233-241.
- Carranza, E.J., 2009. *Geochemical Anomaly and Mineral Prospectivity Mapping in GIS*, *Handbook of Exploration and Environmental Geochemistry*, Elsevier Science, 368 p.
- Chen, Y., Lu, L. and Li, X., 2014. Application of continuous restricted Boltzmann machine to identify multivariate geochemical anomaly, *Journal of Geochemical Exploration*, v. 140, p. 56-63.
- Cheng, Q. and Li, Q., 2002. A fractal concentration – area method for assigning a color palette for image representation, *Computers & Geosciences*, v. 28, p. 567-575.
- Cheng, Q., Xu, Y. and Grunsky, E., 1999. Integrated spatial and spectral analysis for geochemical anomaly separation, In: Lippard, S.J., Naess, A., Sinding-Larsen, R. (Eds.), *Proceedings of the Fifth Annual Conference of the International Association for Mathematical Geology*, Trondheim, Norway 6-11th August, v. 1, p. 87-92.

- Daya, A.A., 2014. Comparative study of C-A, C-P, and N-S fractal methods for separating geochemical anomalies from background: A case study of Kamoshgaran region, northwest of Iran, *Journal of Geochemical Exploration*, DOI: 10.1016/j.gexplo.2014.12.015.
- Keykha Hoseinpoor, M. and Aryafar, A., 2014. The Use of Robust Factor Analysis of Compositional Geochemical Data for the Recognition of the Target Area in Khusf 1:100000 Sheet, South Khorasan, Iran, *International Journal of Mining and Geoengineering*, v. 48(2), p. 191-199.
- Keykha Hoseinpoor, M. and Aryafar, A., 2016. Using Robust Staged R-mode factor analysis and logistic function to identify probable Cu-mineralization zones in Khusf 1:100,000 sheet, east of Iran, *Arabian Journal of Geosciences*, v. 9(157), p. 1-11. DOI 10.1007/s12517-015-2266-9.
- Li, Q. and Cheng, Q., 2006. Visual Anomaly: A GIS-based multifractal method for geochemical and geophysical anomaly separation in Walsh domain, *Computer & Geosciences*, v. 32, p. 663-672.
- Mahvash Mohammadi, N., Hezarkhani, A. and Shokouh Saljooghi, B., 2016. Separation of a geochemical anomaly from background by fractal and U-statistic methods, a case study: Khooni district, Central Iran, <http://dx.doi.org/10.1016/j.chemer.2016.09.001>, 0009-2819/© 2016 Elsevier GmbH.
- Mohammadzadeh, M.J. and Nasseri, A., 2017. Geochemical modeling of orogenic gold deposit using PCANN hybrid method in the Alut, Kurdistan province, Iran, *Journal of African Earth Sciences* (2017), doi: 10.1016/j.jafrearsci.2017.11.038.
- Nazarpour, A., Sadeghi, B. and Sadeghi, M., 2014. Application of fractal models to characterization and evaluation of vertical distribution of geochemical data in Zarshuran gold deposit, NW Iran, *Journal of Geochemical Exploration*, doi: 10.1016/j.gexplo.2014.08.007.
- Parsa, M., Maghsoudi, A., Yousefi, M. and Carranza, E.J.M., 2016. Multifractal interpolation and spectrum-area fractal modeling of stream sediment geochemical data: Implications for mapping exploration targets, *Journal of African Earth Sciences*, doi: 10.1016/j.jafrearsci.2016.11.021.
- Shahi, H., Ghavami, R., Rouhani, A.K., Kahoo, A.R. and Haroni, H.A., 2015. Application of Fourier and wavelet approaches for identification of geochemical anomalies, *African Earth Sciences*, doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2015.03.017>
- Shiva, M., 1998. Stream sediment geochemical exploration in the arid environment of East Iran. PhD thesis, the University of Natingham, UK.
- Shiva, M. and Atkin, B.P., 2004. Determination of the elemental association in the stream sediment geochemical exploration using factor analysis in SHAHKOUH area, east Iran, *Iranian Journal of Science & Technology, Transaction B*, v. 28(B2), p. 1-8.
- Sun, X., Zheng, Y., Wang, C., Zhao, ZH. and Geng, X., 2016. Identifying geochemical anomalies associated with Sb-Au-Pb-Zn-Ag mineralization in North Himalaya, southern Tibet, *Ore Geology Reviews*, v. 73, p. 1-12.
- Yap, C.K., 2012. Application of Factor Analysis in Geochemical Fraction of Heavy Metals in the Surface Sediments of the Offshore and Intertidal Areas of Peninsular Malaysia, *Sains Malaysiana*, v. 41 (4), p. 389-394.

- Wang, J. and Zuo, R., 2018. Identification of geochemical anomalies through combined sequential Gaussian simulation and grid-based local singularity analysis, *Computers and Geosciences*, doi: 10.1016/j.cageo.2018.05.010.
- Zhao, J., Chen, S. and Zuo, R., 2015. Identifying geochemical anomalies associated with Au–Cu mineralization using multifractal and artificial neural network models in the Ningqiang district, Shaanxi, China, *Journal of Geochemical Exploration*, <http://dx.doi.org/10.1016/j.gexplo>. 2015.06.018, 0375-6742/© 2015 Elsevier B.V.
- Ziaei, M., Doulati Ardejani, F., Ziaei, M. and Soleymani, A.A., 2012. Neuro-fuzzy modeling based genetic algorithms for identification of geochemical anomalies in mining geochemistry, *Applied Geochemistry*, v. 27, p. 663-676.
- Zuo, R., Carranza, E.J. and Cheng, Q., 2012. Fractal/multiracial modeling of geochemical exploration data", *Journal of Geochemical Exploration*, v. 122, p. 1-3.