

بررسی ویژگی‌های زیرجوامع کانی‌سازی طلای تیپ کوهزائی با پیاده‌سازی توابع تفکیک آنالیز تمایز روی مدل نمودار احتمال در چهار گوشه سقز

میرمهدی سیدرحیمی نیارق^{۱*}، مهدی زارع^۲، رضا قوامی‌ریابی^۳

۱. استادیار دانشگاه محقق اردبیلی، دانشکده فنی و مهندسی m.seydrahimi@uma.ac.ir

۲. دکتری مهندسی اکتشاف معدن، دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک، دانشگاه شاهرود mehdi_zare001@yahoo.com

۳. دانشیار دانشگاه شاهرود، دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک r.ghavami2@yahoo.com

(دریافت: ۱۳۹۷/۱۲/۲۳ - پذیرش: ۱۳۹۹/۰۳/۲۹)

چکیده

کانی‌سازی طلا در منطقه کردستان ایران، واقع در زون سنندج - سیرجان، به‌عنوان تیپ طلای پهنه‌های برشی طبقه‌بندی شده است. برای جداسازی بهینه نمونه‌های آنومال کانی‌سازی شده طلا نیاز به بررسی دقیق ویژگی‌های زیرجوامع ضروری به‌نظر می‌رسد. در این تحقیق برای بررسی دقیق‌تر این ویژگی‌ها و بهبود نتایج، روش آنالیز تمایز روی نتایج مدل‌سازی نمودار احتمال پیاده‌سازی شده است. بدین منظور از نمونه‌های رسوبات آبراهه‌ای ۲۱ متغیر ژئوشیمیایی (Zn, W, V, Ti, Sn, Sb, Pb, Ni, Mo, Mn, Hg, Cu, Cr, Co, Bi, Be, Ba, B, Au, Ag) استفاده شده است. ابتدا با انجام مدل‌سازی نمودار احتمال چهار زیرجامعه در بین داده‌های عنصر طلا شناسایی شد و با تحلیل مدل حدود تقریبی زمینه و آنومالی تخمین زده شد. سپس، از بین داده‌های خام، مقادیر غلظت‌های ۵، ۱۵ و ۳۰ ppb به‌عنوان مرز جوامع انتخاب شدند و در نهایت مقادیر ۱۵ و ۳۰ ppb به‌عنوان حد‌آستانه آنومالی‌ها به ترتیب با مقدار مساحت ۳۸ و ۲۶ کیلومتر مربع معرفی شد. سپس به هر یک از این زیرجوامع کد اختصاص داده و با استفاده از تکنیک آنالیز تمایز نسبت به کلاسه‌بندی داده‌ها با سه تابع خطی متشکل از ۶ متغیر (Ag, Au, Co, Mn, Mo, V) که بیشترین اثر را در کلاسه‌بندی نمونه‌ها داشته‌اند، اقدام شد. پنج متغیری که در کنار عنصر طلا قرار گرفته‌اند به‌عنوان مؤثرترین عناصر در شناسایی نمونه‌های آنومال طلا معرفی شدند. به منظور اعتبار سنجی توابع آنالیز تمایز، در کلاسه‌بندی جوامع، از روش‌های اصلی و ارزیابی متقابل استفاده شد. با این اعتبارسنجی، داده‌ها با صحت معادل ۸۷٪ و ۸۳٪ طبقه‌بندی شدند. نتایج توابع تفکیک روی مدل نمودار احتمال قادر است تا در بهینه‌سازی عملیات اکتشافی و رده‌بندی داده‌های جدید اکتشافی منطقه به زمینه یا آنومال با استفاده از شش پارامتر ژئوشیمیایی مذکور، راهنمای مؤثری در انجام مراحل بعدی عملیات اکتشافی باشد.

کلمات کلیدی

داده‌های ژئوشیمیایی عنصر طلا، رسوبات آبراهه‌ای، مدل‌سازی نمودار احتمال، آنالیز تمایز، جامعه زمینه و آنومالی، مناطق آنومالی

۱-مقدمه

هایی که مطالعات آماری اولیه روی آن‌ها انجام شده است، انجام می‌شود [۱۱-۱۷].

روش آنالیز تمایز توسط فیشر در سال ۱۹۳۶ ابداع و بر پایه رگرسیون خطی چند متغیره آنرا توسعه داد [۱۸]. آنالیز تمایز مشابه رگرسیون خطی چندگانه است با این تفاوت که متغیر وابسته نه تنها توزیع نرمال ندارد، بلکه یک متغیر کیفی با تعداد مقادیر اندک است. این روش زمانی مفید است که یک متغیر گروه‌بندی (کیفی) و چندین متغیر مستقل کمی وجود داشته باشد و هدف پژوهشگر به‌دست آوردن رابطه‌ای باشد که بتواند با توجه به متغیرهای مستقل عضویت را در متغیر گروه‌بندی مشخص کرد [۱۹-۲۱]. این روش برای شناسایی نمونه‌های آنومال ژئوشیمیایی [۲۵-۲۲]، بررسی ویژگی‌های عناصر کمیاب [۲۶]، جداسازی سنگ‌های کانی‌زا از عقیم [۲۷]، مدلسازی کانی‌زایی کانسارهای طلا [۲۸]، اکتشاف ذخایر مس با میزبان رسوبی [۲۹] و رده‌بندی داده‌های ژئوشیمیایی زیست‌محیطی [۳۰] استفاده شده است.

در این تحقیق به‌منظور بررسی اثرات کانی‌سازی طلا، سعی شده است از نتایج نمودار احتمال به‌عنوان ورودی روش آنالیز تمایز در رده‌بندی داده‌های ژئوشیمیایی عنصر طلا استفاده شود تا از قابلیت‌های این روش تلفیقی در بهبود تفکیک‌پذیری نمونه‌های زمینه و آنومال (زیرجوامع) استفاده شود. همچنین بر این اساس، بتوان عناصر مؤثر در شناسایی مناطق آنومال طلا را شناسایی کرد. برای این کار سعی شد از طریق مدل‌سازی نمودار احتمال داده‌های به‌دست آمده از نمونه‌های برداشت شده از رسوبات آبراه‌ای، اقدام به جداسازی زیرجوامع زمینه و آنومالی این عنصر شود. سپس با کلاسه‌بندی زیرجوامع کانی‌سازی حاصل از مدل‌سازی نمودار احتمال، ویژگی‌های این زیرجوامع آشکارتر شده و اقدام به بهبود نتایج شده است. بر اساس توابع آنالیز ارائه شده، می‌توان نمونه‌های برداشت شده جدید را در کلاسه‌های بیان شده طبقه‌بندی کرد.

کانسارهای طلای کوهزایی طی فرآیندهای دگرشکلی فشارشی و ترافشارشی در حاشیه برخورد صفحات قاره-ای-قاره‌ای و اقیانوسی-قاره‌ای تشکیل شده‌اند [۲۱]. مطالعات ژئوشیمیایی مختلفی در خصوص بررسی زیرجوامع طلای تپ کوهزایی انجام شده است [۳-۶]. برخی پژوهشگران، کانسارهای مرتبط با پهنه‌های برشی را در گروه کانسارهای طلای تپ کوهزایی قرار می‌دهند [۷]. با توجه به این‌که کانسارهای مذکور در کمربندهای دگرگونی حاشیه فعال قاره‌ای تشکیل می‌شوند، پهنه دگرگونی سنندج-سیرجان می‌تواند میزبان خوبی برای این تپ کانسارها باشد. مطالعات انجام شده، نشان می‌دهد که رخداد طلای کوهزایی در بخش شمال-غربی پهنه سنندج-سیرجان در ارتباط با یک پهنه برشی شکننده-شکل پذیر است [۸].

امروزه تفکیک و شناسایی مناطق پرعیار از کم عیار کانسار طلا به‌دلیل داشتن تغییرات عیار در حد بسیار ناچیز از اهمیت فراوانی برخوردار است [۹]. روش‌های متنوعی به‌منظور تفکیک آنومالی‌های ژئوشیمیایی وجود دارد که از جمله آن‌ها می‌توان به روش مدل‌سازی نمودار احتمال و روش چندمتغیره آنالیز تمایز اشاره کرد. این روش‌ها، جزء روش‌های غیرساختاری^۱ جداسازی آنومالی از زمینه ژئوشیمیایی محسوب می‌شوند که قادر هستند دو جامعه آنومالی و زمینه را به‌صورت زیرجوامع مختلف به تصویر کشیده و اثرات کانی‌سازی را مورد تجزیه و تحلیل قرار دهند.

تئوری نمودار احتمال برای اولین بار توسط هازن^۳ در سال ۱۹۱۴ مطرح و در ساده کردن داده‌های مربوط به یک ذخیره از آن استفاده شد [۱۰]. در این روش دامنه کاربرد نمودارهای احتمال در اکتشافات معدنی متنوع بوده که از جمله می‌توان به کاربرد آن در پروژه‌های ژئوشیمیایی، ژئوفیزیکی، تخمین ذخیره اشاره کرد. در این روش با حجم محاسبات کم و سرعت عمل بالا و با دخالت نظر ژئوشیمیست، جداسازی روندهای موجود در بین داده-

۲- زمین‌شناسی و موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

از نظر تقسیم‌بندی زمین‌شناسی ایران، محدوده مورد بررسی در پهنه سندانج- سیرجان قرار می‌گیرد. این پهنه به صورت یک نوار ماگمایی- دگرگونی، بخشی از کمربند کوه‌زایی زاگرس بوده که طی فرورانش پوسته اقیانوسی نئوتتیس به زیر خرده قاره ایران و نهایتاً برخورد پوسته عربی به صفحه ایران در کرتاسه- ترشیری شکل گرفته است [۳۱]. در مورد زمان دقیق فرورانش و برخورد مباحث زیادی مطرح بوده است [۳۲]. برخی از محققین [۳۳] معتقد هستند که فرورانش پوسته اقیانوسی به زیر پهنه سندانج- سیرجان، ۱۵۰ میلیون سال قبل در تریاس بالایی- ژوراسیک زیرین اتفاق افتاده در حالی که پژوهشگران دیگر زمان فرورانش اولیه را کرتاسه آغازین- پایانی می‌دانند [۳۴]. از سویی دیگر علوی برخورد نهایی بلوک ایران و عربی در امتداد راندگی اصلی زاگرس را به کرتاسه نسبت می‌دهد [۳۵]. در شکل ۱ مدل زمین‌ساختی تکامل بخش شمالی پهنه سندانج- سیرجان نشان داده شده است. در بازه زمانی پرمین تا تریاس، اقیانوس نئوتتیس در حال باز شدن و گسترش بوده است. در این زمان ممکن است رخدادهای طلای پهنه سندانج- سیرجان در حاشیه غربی ایران مرکزی رخ داده باشد (شکل ۱-الف) [۳۲]. قوس آتشفشانی مرتبط با فرورانش در بخش شمالی پهنه سندانج- سیرجان گسترش یافت (شکل ۱-ب). برخورد نهایی بلوک عربی و ایران مرکزی در الیگوسن- میوسن رخ داده است (شکل ۱-ج).

محدوده مورد مطالعه از نظر موقعیت جغرافیایی در فاصله ۲۰ کیلومتری جنوب غرب سقز در استان کردستان واقع شده است [۳۶]. منطقه از نظر آب و هوایی، سرد و کوهستانی است و راه‌های دسترسی به محدوده مورد نظر از طریق جاده اصلی سقز به بانه میسر است (شکل ۲) [۳۷]. علی‌رغم وجود پتانسیل‌های معدنی قابل توجه در استان کردستان به ویژه در منطقه سقز، متأسفانه به دلیل کمبود امکانات، دور بودن از مرکز و همچنین شرایط جنگ تحمیلی، مطالعات و بررسی‌های علمی دقیقی به‌طور سیستماتیک به منظور شناسایی

فلزی قیمتی تا قبل از سال ۱۳۷۳ در آن انجام نشده است، بنابراین این منطقه به لحاظ اطلاعات معدنی تقریباً بکر و دست‌نخورده باقی مانده است. بخشی از مطالعات انجام پذیرفته در منطقه مورد مطالعه شامل تهیه نقشه ۱:۲۵۰۰۰۰ مهاباد، گزارش زمین‌شناسی، ساخت‌های آلتراسیون منطقه [۳۸]، اکتشافات ژئوشیمیایی سیستماتیک ۱:۱۰۰۰۰۰ سقز، آلوت و تیژتیز [۳۹ و ۴۰]، مطالعات دورسنجی مقدماتی در ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ سقز به منظور شناسایی واحدهای سنگی، دگرسانی و پتانسیل- های معدنی، با استفاده از سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS) [۴۱،۴۲] است. شرایط زمین‌شناسی فراهم شده علاوه بر ایجاد مناطق برشی و شدیداً تکتونیزه همراه با تشکیل سیالات گرمایی بوده و می‌تواند به‌عنوان یکی از عوامل کانی‌سازی‌های طلا در این محدوده محسوب شود. بر این اساس همچنین در بررسی‌های اکتشافی انجام شده توسط سازمان زمین‌شناسی کشور، کانی‌سازی طلا پهنه‌های برشی^۲ در درون سنگ‌های دگرگون پرکامبرین شناسایی شده است [۴۳]. نتایج این مطالعات و بررسی‌های صورت گرفته، منجر به شناسایی چندین کانسار و اندیس طلا در منطقه شد، که شامل کانسارهای قره‌جر، قلقله، کروبان، قباغلوچه و دو اندیس دیگر است [۴۴،۳]. شکل ۳ نقشه زمین‌شناسی به‌همراه نمونه‌های برداشت شده در منطقه مورد بررسی را نشان می‌دهد.

۳- مواد و روش‌ها

۳-۱- نمونه‌برداری و آماده‌سازی نمونه‌ها

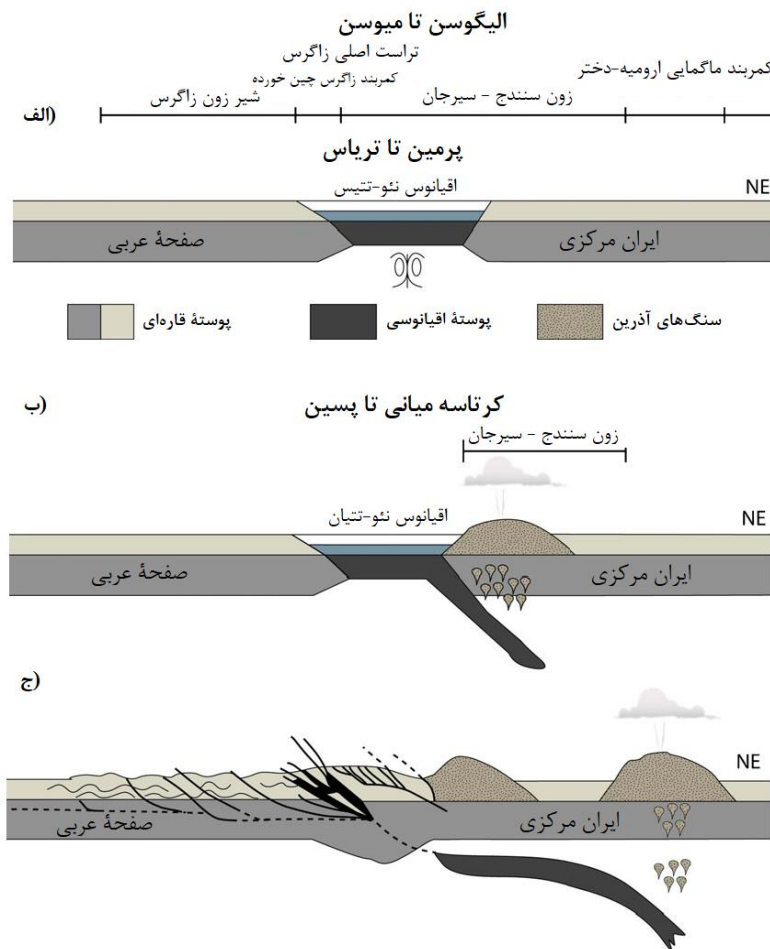
نمونه‌برداری ژئوشیمی در منطقه‌ای به مساحت حدود ۳۷۰ کیلومتر مربع از ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ سقز، از رسوبات جدید بستر آبراهه‌ها و ذرات ۴۰- مش توسط سازمان زمین‌شناسی انجام شده است. در دو ایستگاه نمونه- برداری سعی شده است از ۳ تا ۵ نقطه در طول و یا عرض بستر آبراهه نمونه‌گیری صورت بگیرد. محل هر ایستگاه نمونه‌برداری روی زمین علامت‌گذاری شده و شماره کامل تعدادی از نمونه‌ها روی زمین نیز ثبت شده است. در صورتی که نمونه‌ها خشک بوده در محل از الک ۴۰ مش عبور داده شده و ذرات ۴۰- مش رسوبات جدا شده،

در این مقاله فقط از این عنصر برای تفسیر استفاده شده است. نتایج بررسی داده‌ها، هیچ داده‌ی خارج از ردیفی را نشان نداد، اما یک نمونه با ویژگی داده‌ی خارج از ردیف وجود داشت که پس از تصحیح جایگزین شد.

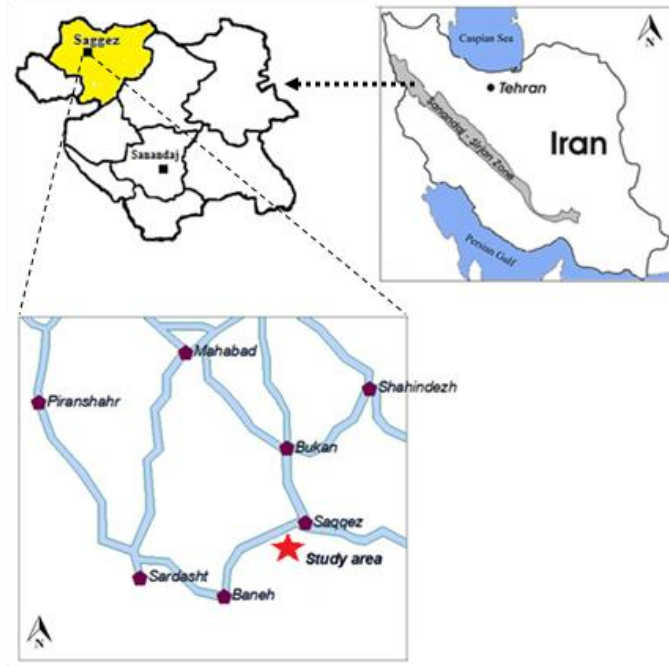
۳-۲- مدل‌سازی نمودار احتمال عنصر طلا

به‌منظور شناسایی جوامع کانی‌سازی و تفکیک آنومالی از زمینه لازم است تا با آگاهی از ویژگی‌ها و رفتارهای ژئوشیمیایی عناصر، به مدل‌سازی داده‌ها پرداخته شود. نمودار احتمال از تکنیک‌های ترسیمی است که به بررسی رفتار متغیر مورد مطالعه و نحوه پراکندگی آن در جامعه می‌پردازد [۳،۴۰].

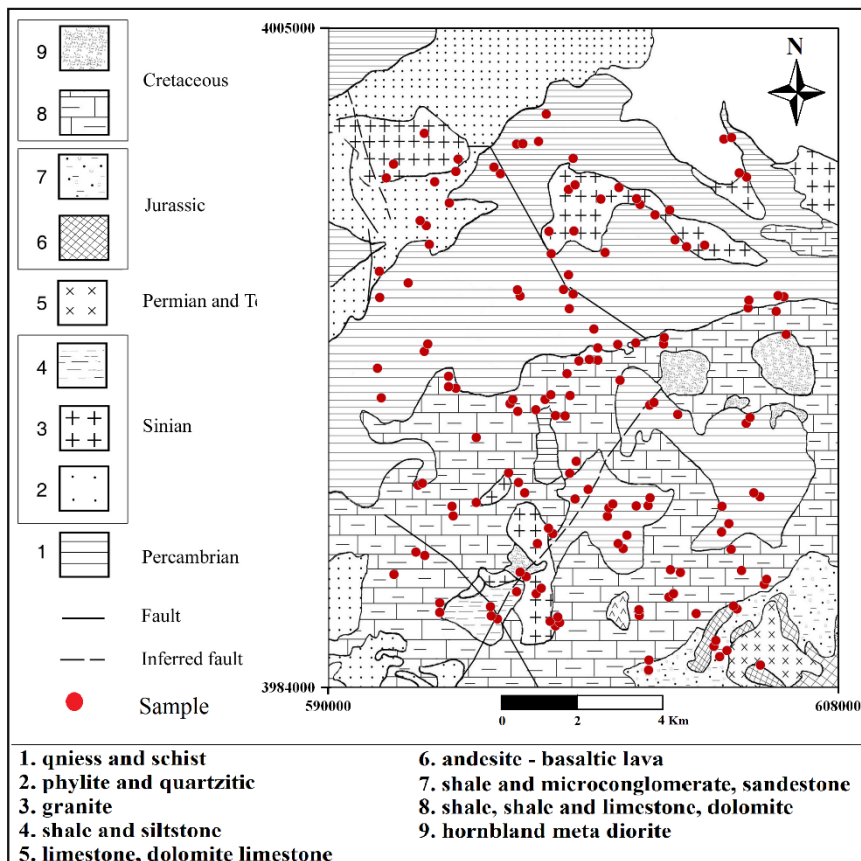
بسته‌بندی می‌شود، در حالی که نمونه‌ها خشک نباشد، مقدار کافی نمونه خام برداشت شده و پس از خشک‌کردن در محل کمپ با استفاده از حرارت غیرمستقیم ذرات ۴۰- مش آن جدا شده و بسته‌بندی شده است. از هر نمونه ژئوشیمی حدود ۱۰۰ گرم برداشت شده و پس از بسته‌بندی و ثبت شماره کامل روی آن به آزمایشگاه نمونه‌کوبی و آماده‌سازی ارسال می‌گردد. این نمونه‌ها پس از پودرشدن و تبدیل به ۲۰۰- مش در آزمایشگاه نمونه کوبی برای تجزیه به آزمایشگاه ارسال شده است. نمونه‌ها با استفاده از روش انتشار طیف سنج و جذب اتمی در آزمایشگاه سازمان زمین‌شناسی و اکتشاف مواد معدنی کشور (GSI) مورد تجزیه قرار گرفته است. به دلیل در دسترس بودن نقشه مناطق معدنی حاصل از اکتشاف ژئوشیمیایی منطقه‌ای و محلی برای عنصر طلا،



شکل ۱- مدل زمین‌ساختی سیر تکامل بخش شمالی زون سندج - سیرجان [۳۲]

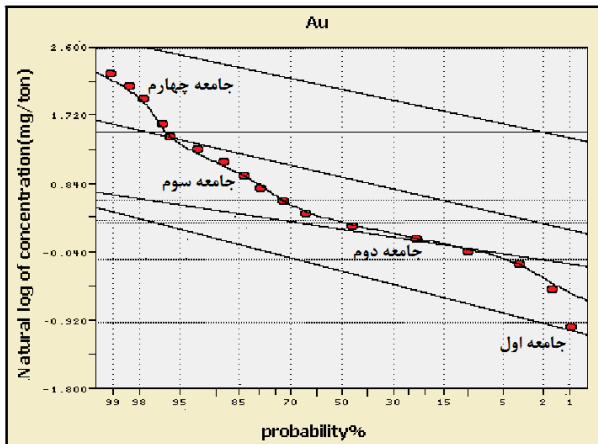


شکل ۲- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه



شکل ۳- نقشه زمین شناسی محدوده مورد مطالعه و موقعیت نمونه‌های برداشت شده [۳۷]

خود را با تغییر شیب از زیر جامعه قبلی و بعدی تفکیک نموده است. این نمودار نشان می‌دهد که دو مرحله از کانی‌سازی ممکن است منطقه مورد مطالعه را تحت تأثیر قرار دهد. مرحله اول می‌تواند مقادیر طلا را تا حد بالای غلظت زمینه افزایش دهد.



شکل ۴- مدل‌سازی نمودار احتمال طلا (Au)

مرحله دوم از شدت بالاتری برخوردار بوده و می‌تواند اثر کانی‌سازی را ایجاد کند (شکل ۴). در طی این مرحله، منطقه مورد مطالعه تحت تأثیر دو مرحله مختلف کانی‌سازی با شدت‌های مختلف قرار گرفته است. این دو مرحله از کانی‌سازی مربوط به دو زیرجامعه آنومال است. وجود دو بخش آنومال شاید به مفهوم عملکرد دو فاز با شدت مختلف کانی‌سازی در منطقه محسوب شود که با تغییر روند و شیب نمودار احتمال در این بخش قابل مشاهده هستند. شدت افزایش غلظت‌های طلا در این دو فاز متفاوت بوده که نتیجه آن دو روند متفاوت روی نمودار احتمال شده است. برای ارزیابی بهتر، پس از برآزش نهایی بین داده‌های خام و مدل، شاخص‌های آماری این زیرجوامع محاسبه شد. در این مدل، چهار زیرجامعه شناسایی شد و مرز هر زیرجامعه و سهم آن در کل داده‌ها به دست آمد. این اطلاعات شامل مقدار آستانه و درصد هر زیر گروه در جدول (۱) خلاصه شده است. اولین زیرجامعه که کمتر از ۵٪ از داده‌ها را شامل می‌شود می‌تواند نشان‌دهنده جامعه زمینه باشد. جامعه دوم شامل ۶۵٪، سوم شامل ۲۸٪ و چهارم شامل کمتر از ۴٪

در بررسی داده‌های ژئوشیمیایی محیط‌های ثانویه به- دلیل اثر درهم آمیختگی امکان وجود هم‌پوشانی بین زیر جامعه‌ها وجود دارد. مخلوط شدن رسوبات جریان در محیط ثانویه به‌طور معمول منجر به یک محیط دارای غلظت یکنواخت در مقایسه با محیط اولیه می‌شود. این فرآیند ممکن است غلظت را کاهش داده و باعث ایجاد ترکیبی از سنگ‌های مختلف و در نتیجه تولید زیرجوامع مختلف شود. مدل‌سازی نمودار احتمال روشی برای تحلیل این زیرجوامع و محاسبه شاخص‌های آماری هر زیرجامعه است. هر روند خطی تغییر در نمودار احتمال مربوط به جمعیتی با میانگین و واریانس خاص است که نتیجه اثرات سین‌زنتیک و پتروژنتیک است. بنابراین، هرگونه تغییر در شیب خط متناسب با مدل در نمودار احتمال، بیانگر رفتارهای مختلف ژئوشیمیایی در محیط زمین‌شناسی است. اگر بتوان از طریق این مدل- سازی، روند زیر جوامع را تشخیص و از یکدیگر تفکیک کرد، حد و مرز هر زیر جامعه به صورت مجزا مشخص خواهد شد. در بررسی اختصاصات ژئوشیمیایی طلای پهنه برشی، عنصر طلا اهمیت ویژه‌ای دارد. بنابراین، در این قسمت ابتدا به مدل‌سازی نمودار احتمال داده‌های طلا در کانی‌سازی پهنه برشی کردستان پرداخته شده است. شکل ۴ نمودار احتمال مدل‌سازی شده داده‌های طلا را نشان می‌دهد. این نمودار با استفاده از نرم افزار پروب-پلات (Prob-plot) ایجاد شد که محور افقی آن درصد تجمعی و محور عمودی، لگاریتم طبیعی غلظت- های خام داده‌هاست. در این شکل دوایر قرمز رنگ نشان‌دهنده داده‌های خام گروه‌بندی شده بوده که روند آن‌ها تغییرات زیادی را نشان می‌دهند. برآزش منحنی یا مدل‌سازی نمودار احتمال روی داده‌های خام، بر اساس تکنیک حداقل مربعات انجام شد. روندهای خطی مختلف می‌تواند به‌عنوان ترکیبی از زیرجوامع مختلف تعبیر شود، و برخی از این روندها ممکن است مربوط به انتقال از زیرجوامع دیگر باشد. تعداد زیر جوامع بر اساس اطلاعات زمین‌شناسی، ژئوشیمیایی و اکتشافی منطقه در مدل‌سازی تعیین می‌شود تا بیشترین انطباق را با داده‌ها ایجاد نماید. چهار روند یا زیرجامعه (شکل ۴) قابل شناسایی است که هر یک از زیر جوامع روند تغییرات

جدول ۱- نتایج محاسباتی مدل سازی طلا با استفاده از روش مدل سازی نمودار احتمال

جامعه	درصد (%)	حد آستانه‌ای (ppb)
۱	۴/۸	۰/۱۱ - ۲/۲۸
۲	۶۴/۵۳	۰/۷۲ - ۴/۱۶
۳	۲۷/۵۹	۲/۱۱ - ۳۲/۱۱
۴	۳/۱۶	-۳۸۰/۶۲
		۳۱/۷۰

۳-۳- پیاده‌سازی روش آنالیز تمایز روی مدل نمودار احتمال عنصر طلا

امروزه روش‌های نوین پردازش داده پروژه‌های اکتشافی در کاهش ریسک و بهینه‌سازی پروژه‌ها بسیار مؤثر بوده است. در این میان روش‌های پردازش چند متغیره که امکان آنالیز همزمان چندین متغیر را فراهم می‌سازد را می‌توان در این گروه از روش‌های مؤثر بهینه‌سازی قرار داد. به‌طور طبیعی توانمندی کاربر و تفسیر فنی و واقعی داده‌ها لازمه رسیدن به این هدف خواهد بود. یکی از روش‌های چند متغیره کارآمد، تحلیل ممیزی یا آنالیز تمایز^۵ است [۴۵-۴۹].

جدول ۲- مقادیر حد آستانه‌ای نهایی به‌دست آمده از روش نمودار احتمال برای عنصر طلا به همراه مساحت مربوطه

مبناى محاسبه	مرز زیر جوامع یا حد آستانه‌ای نهایی (ppb)	مساحت حد آستانه (Km ²)
حد بالای زیر جامعه دوم	۵	-
متوسط زیر جامعه سوم	۱۵	۳۸
حد بالای زیر جامعه سوم	۳۰	۲۶

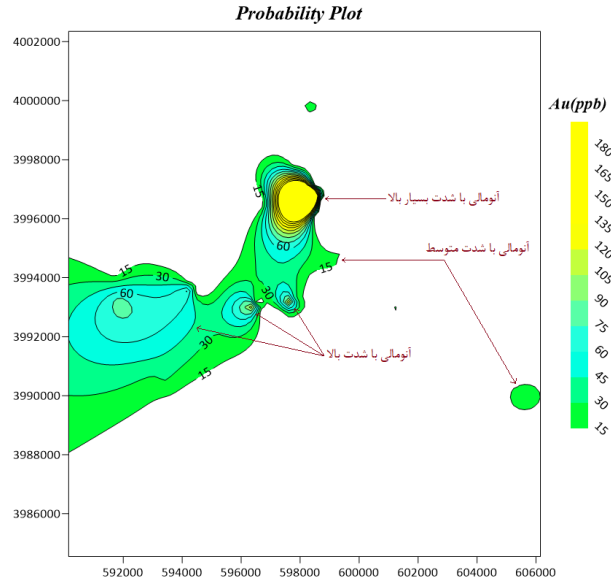
از داده‌ها است. زیرمجموع دوم ممکن است حد انتقالی از پس زمینه به ناهنجاری را منعکس کند، جامعه سوم آنومالی بوده و جامعه چهارم حد بالای غلظت جامعه آنومال یا منطقه معدنی محسوب می‌شود. بر اساس حدود آستانه‌ای^۲ محاسبه شده برای هر یک از زیر جوامع چهارگانه، از بین داده‌های خام مقادیر غلظت‌های ۵، ۱۵ و ۳۰ (به ترتیب معرف تقریباً حد بالای زیر جامعه دوم، متوسط زیر جامعه سوم و حد بالای زیر جامعه سوم) به‌عنوان مرز جوامع انتخاب شدند و در نهایت مقادیر ۱۵ و ۳۰ به‌عنوان حد آستانه آنومالی‌ها معرفی شد (جدول ۲). در شکل ۵ نقشه مناطق آنومال با در نظر گرفتن حد آستانه‌ای ۱۵ ppb به‌عنوان مرکز اولین زیر جامعه آنومالی، نشان داده شده است و ترازهای ۳۰ ppb نیز مرحله دوم کانی‌سازی را نشان می‌دهد. از لحاظ شدت آنومالی هم، سه دسته آنومالی در منطقه دیده می‌شود. دسته اول آنومالی با شدت بسیار بالا می‌باشد که با مقدار بیش از ۶۰ ppb با رنگ زرد در بخش شمالی منطقه دیده می‌شود. سه ناحیه آنومالی با شدت بالا با مقادیر بیش از ۳۰ ppb جدا شده‌اند که در بخش مرکزی و غرب منطقه خود را نشان می‌دهند. دو آنومالی با شدت متوسط نیز با مقادیر بیش از ۱۵ ppb در بخش مرکزی به سمت شرق و همچنین در جنوب شرق منطقه، خودشان را از دیگر مناطق آنومال جدا کرده‌اند که قابل توجه است. مطالعات انجام شده در منطقه مورد نظر نشان می‌دهد که همه این مناطق جزء اولویت‌های اکتشافی قرار گرفته‌اند و نتایج موفقیت‌آمیزی در مراحل اکتشافات تفصیلی داشته‌اند. این مناطق بیشتر با سنگ‌های گرانیتوئیدی همراه بوده، که با سنگ‌های دگرگونی منطقه در تقاطع هستند. قدیمی‌ترین این نوع واحدها به سن پرکامبرین برمی‌گردد (G1، شکل ۳) و در مقیاس بزرگتر گرانیتوئیدهای دیگری به سن مزوزوئیک (G2) و ترشیاری (G3) تعلق دارند که ناحیه را تحت تأثیر خود قرار داده‌اند.

آنالیز تمایز انتخاب شده است تا بتوان به بررسی دقیق‌تر ویژگی‌های زیرجوامع به‌دست آمده از روش مدل‌سازی نمودار احتمال پرداخت. بر اساس نتایج مدل‌سازی نمودار احتمال و غلظت‌های محاسبه شده برای مرز جوامع، برای کلاسه‌بندی در آنالیز تمایز، به هر یک از نمونه‌های زیر جوامع، یک کد اختصاص داده شد (جدول ۳). در این جدول چهار کد برای هر جامعه با مرز غلظت‌های به‌دست آمده از روی نمودار احتمال، اختصاص داده شد.

جدول ۳- کد اختصاص داده شده هر یک از زیر جوامع

کد اختصاصی	محدوده غلظت جامعه (ppb)	جامعه
Code1	۰-۵	زمینه
Code2	۵-۱۵	گذر از زمینه به آنومالی
Code3	۱۵-۳۰	آنومال - فاز اول
Code4	>۳۰	آنومال - فاز دوم

آنالیز تمایز به‌صورت مرحله‌ای^۷ انجام شد. در این حالت، متغیری که بر اساس آزمون‌های آماری کمترین اثر را در تابع تمایز دارد در هر گام شناسایی شد و از مجموعه متغیرها خارج شد. با توجه به اینکه ۴ زیرجامعه برای عنصر طلا تعریف شده، بنابراین سه تابع تمایز تعریف شد. نتایج ضرایب متغیرها برای این سه تابع در جدول ۴ ارائه شده است. از بین ۲۱ عنصر شرکت‌کننده در آنالیز تمایز، تعداد ۶ عنصر با بیشترین تأثیر در شناسایی مناطق زمینه و آنومال، به‌دست آمده است. این عناصر شامل Ag، Au، Co، Mn، Mo و V هستند که پنج متغیر قرار گرفته در کنار عنصر طلا را می‌توان به‌عنوان مؤثرترین عناصر در شناسایی نمونه‌های آنومال این عنصر در نظر گرفت. در خصوص عناصر کبالت و وانادیوم می‌توان گفت بیشتر این عناصر همراه سنگ‌های اولترابازیک و تیتانومگنتیت‌های همراه با زون زاگرس هستند که در منطقه نیز وجود دارد و نه کانسارهای



شکل ۵- نقشه مناطق آنومال با استفاده از روش مدل‌سازی نمودار احتمال

با انجام آنالیز تمایز، یک تابع یا مجموعه‌ای از توابع ساخته شده و برای n گروه n-1 تابع تعریف می‌شود. اولین تابع بهترین ترکیب خطی برای پیش‌بینی عضویت در گروه‌ها را بهمراه خواهد داشت [۵۰]. در صورتی‌که متغیرهای X_1, X_2, \dots, X_k در گروه‌های مختلف اندازه‌گیری شده باشند، شکل کل تابع تمایز^۶ به‌صورت رابطه ۱ است:

$$Df = b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_kx_k \quad (1)$$

b_1, b_2, \dots, b_k و ضرایب تأثیر به‌دست آمده از آنالیز برای هر کدام از متغیرها است. نمونه‌های آنومال عنصر طلا در مرحله قبل توسط مدل‌سازی نمودار احتمال از زمینه جدا شدند. با توجه به این‌که تفکیک چهار جامعه به‌دست آمده از این مدل‌سازی به زیر جوامع زمینه و آنومالی با در نظر گرفتن نظر شخصی ژئوشیمیست انجام می‌شود، بنابراین به‌نظر می‌رسد لزوم بررسی صحت این نظر، با یک روش قابل اعتماد که قابلیت پردازش داده‌های اکتشافی را داشته و ارزیابی صحت عملکرد آن نیز قابل اجرا باشد، ضروری است تا نظر نهایی ژئوشیمیست با اعتبار بیشتری انجام گیرد. برای این منظور در این بخش روش چند متغیره

یک جدایش واضح تری نسبت به دو جامعه دیگر نشان می‌دهد که نشان‌دهنده کلاسه‌بندی خوبی است. نمونه‌های زمین و گذر (۲ Code و ۱ Code) به دلیل اثر درهم آمیختگی، یک هم‌پوشانی در بین داده‌ها از خود نشان می‌دهند. با توجه به این که اولین تابع بهترین تابع می‌تواند باشد، به همین منظور نمودار فراوانی کل نمونه‌ها بر اساس امتیازات محاسبه شده در رابطه ۲ ترسیم شد (شکل ۷). در این شکل دو جامعه آنومالی به خصوص آنومالی فاز دوم به خوبی از دیگر جوامع جدا شده و حاکی از حضور نمونه‌های کانی‌سازی در این زون است. جامعه گذر زمینه به آنومالی به دلیل اثر درهم آمیختگی با جامعه ۱ و ۳ هم‌پوشانی دارد.

$$Df_1 = -9.199Ag + 0.162Au + 0.075Co + 0.001Mn + 0.163Mo - 0.012V - 1.615 \quad (2)$$

$$Df_2 = -23.276Ag + 0.005Au - 0.085Co + 0.004Mn + 0.797Mo - 0.01V + 1.136 \quad (3)$$

$$Df_1 = -9.199Ag + 0.162Au + 0.075Co + 0.001Mn + 0.163Mo - 0.012V - 1.615 \quad (4)$$

طلای تپ کوه‌زایی. در رابطه‌های ۲، ۳ و ۴ توابع تمایز محاسبه شده ارائه شده است.

نقشه پراکندگی نمونه‌ها و مرکز گروه‌ها (زمینه، حاشیه، آنومال) در شکل ۶ آورده شده است. مطابق شکل، نمونه‌های مربوط به دو جامعه آنومال (۴ Code و ۳ Code)

جدول ۴- ضرایب محاسبه شده برای متغیرهای توابع

	تابع		
	۱	۲	۳
Ag	-۹,۱۹۹	۲۳,۲۷۶	۱۱,۸۳۲
Au	۰,۱۶۲	۰,۰۰۵	-۰,۰۱۳
Co	۰,۰۷۵	-۰,۰۸۵	۰,۰۹۶
Mn	۰,۰۰۱	۰,۰۰۴	۰,۰۰۱
Mo	۰,۱۶۳	۰,۷۹۷	۰,۰۸۱
V	-۰,۰۱۲	-۰,۰۱	-۰,۰۳۳
(Constant)	-۱,۶۱۵	۱,۱۳۶	-۰,۰۵۴

کلاسه‌بندی برای کل نمونه‌ها در روش آنالیز تمایز توسط رابطه ۵ محاسبه می‌شود:

$$P = \frac{\sum_{i=1}^4 g_i}{N} \times 100 \quad (5)$$

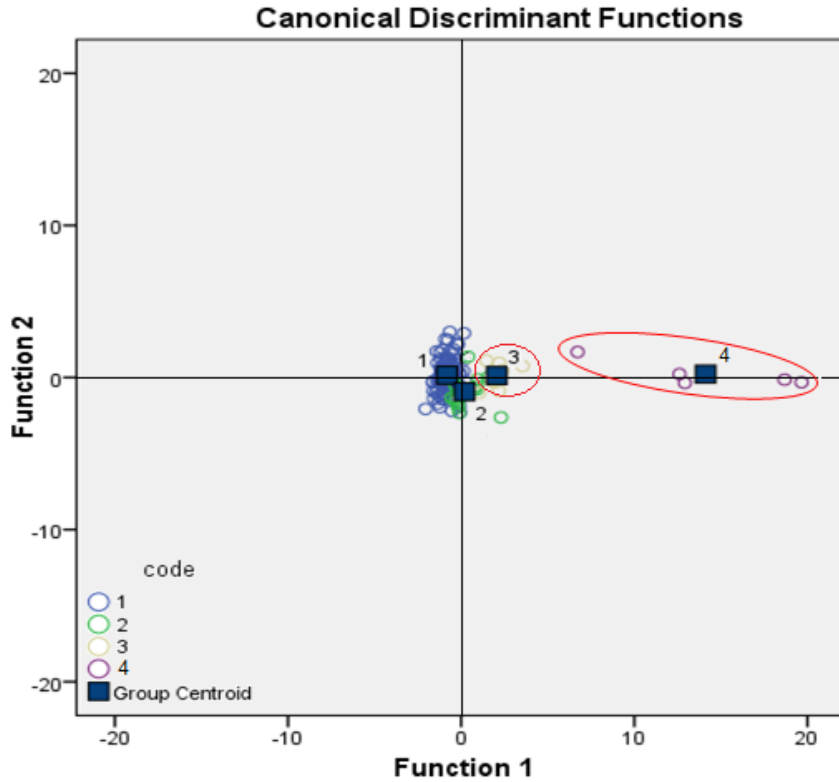
که در این رابطه، g_i معرف تعداد نمونه‌های صحیح کلاسه‌بندی شده در هر گروه (جامعه) می‌باشد و N برابر تعداد کل نمونه‌ها است.

۴- ارزیابی صحت کلاسه‌بندی جوامع

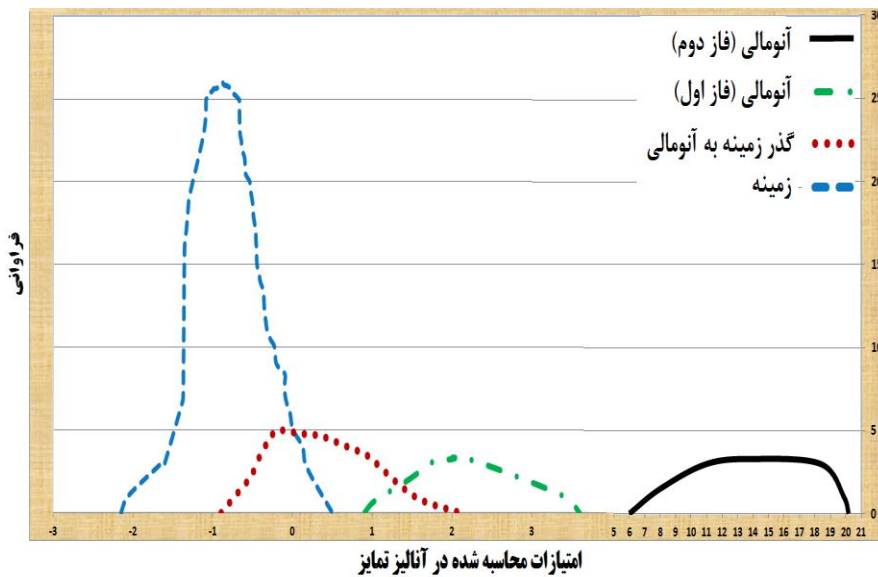
به منظور نمایش عملکرد نتایج پیش‌بینی آنالیز تمایز، ارزیابی صحت کلاسه‌بندی نمونه‌ها به روش اصلی^۸ و ارزیابی متقابل^۹ انجام شده است. نتایج روش اصلی (جدول ۵)، حاکی از این است که جامعه زمینه (۱ Code) ۱۱۵ نمونه دارد که از این میان ۸۷/۸ درصد این نمونه‌ها به درستی کلاسه‌بندی شده است و به همین ترتیب جامعه گذر زمینه به آنومالی (۲ Code) دارای ۲۱ نمونه و صحت کلاسه‌بندی ۸۱ درصد و دو جامعه آنومال (۴ Code و ۳ Code) به ترتیب دارای ۹ و ۵ نمونه و میزان صحت کلاسه‌بندی ۱۰۰ و ۸۰ درصد می‌باشد. میزان صحت

$$p = \frac{101 + 17 + 9 + 4}{150} \times 100 = 87.3\%$$

بر اساس نتایج کلاسه‌بندی برای هر گروه، صحت روش آنالیز تمایز در کلاسه‌بندی کل داده‌ها، معادل ۸۷/۳ درصد محاسبه شد:



شکل ۶- موقعیت نمونه‌ها در گروه‌های کلاسه‌بندی شده



شکل ۷- کلاسه‌بندی نمونه‌ها بر اساس امتیازات محاسبه شده در آنالیز تمایز

بر اساس نتایج کلاسه‌بندی برای هر گروه، صحت روش آنالیز تمایز در کلاسه‌بندی کل داده‌ها، معادل ۸۲/۷ درصد محاسبه شد:

$$p = \frac{97+15+8+4}{150} \times 100 = 82.7\%$$

برای محاسبه دقیق‌تر صحت کلاسه‌بندی می‌توان از روش ارزیابی متقابل استفاده کرد. در این روش (n-1) نمونه برای آموزش^{۱۰} و یک نمونه برای آزمایش^{۱۱} در نظر گرفته شده و این کار برای تمام نمونه‌ها انجام می‌شود. نتایج کلاسه‌بندی نمونه‌ها با استفاده از این روش در جدول ۶ آمده است.

جدول ۵- نتایج کلاسه‌بندی نمونه‌ها برای ۱۵۰ نمونه بکار رفته در آنالیز تمایز به روش اصلی

کلاسه‌های پیش بینی شده						
	Code ۱	Code ۲	Code ۳	Code ۴	تعداد نمونه	درصد صحت (%)
Code ۱	۱۰۱	۱۴	۰	۰	۱۱۵	۸۷/۸
Code ۲	۲	۱۷	۲	۰	۲۱	۸۱
Code ۳	۰	۰	۹	۰	۹	۱۰۰
Code ۴	۰	۰	۱	۴	۵	۸۰

جدول ۶- نتایج کلاسه‌بندی نمونه‌ها با استفاده از روش ارزیابی متقابل

کلاسه‌های پیش بینی شده						
	Code ۱	Code ۲	Code ۳	Code ۴	تعداد نمونه	درصد صحت (%)
Code ۱	۹۷	۱۸	۰	۰	۱۱۵	۸۴/۳
Code ۲	۴	۱۵	۲	۰	۲۱	۷۱/۴
Code ۳	۰	۱	۸	۰	۹	۸۸/۹
Code ۴	۰	۰	۱	۴	۵	۸۰

نشان داد که این زیرجوامع شمال یک جامعه زمینه، یک جامعه گذر زمینه به آنومالی و دو فاز اول و دوم آنومالی (به ترتیب آنومالی احتمالی و قطعی) است. با هدف کاهش ریسک و به حداقل رساندن هزینه‌ها در پروژه-های اکتشافی، می‌توان متغیرهایی که این تیپ کانی-سازی طلا را از سایر تیپ‌ها جدا می‌کند، به صورت توابعی تعریف کرد و وضعیت کانی‌سازی را در یک محدوده جدید با برداشت نمونه‌های جدید و قرار دادن متغیرهای اندازه‌گیری شده در تابع تمایز، مشخص کرد.

پی‌نوشت

- 1- Non-structural methods
- 2- Shear zones
- 3- Hazen
- 4- Thresholds
- 5- Discriminant Analysis
- 6- Discriminant Function

۵- نتیجه‌گیری

شناسایی نادرست مناطق کانی‌سازی و همچنین میزان عیار یک کانسار می‌تواند منجر به اشتباهات جبران‌ناپذیری در برنامه‌ریزی و بهره‌برداری شود. بنابراین ارائه روش‌های نوین که مورد توجه متخصصان و پژوهشگران در بخش معدن و زمین‌شناسی است، می‌تواند باعث بهبود نتایج شود.

با توجه به اهمیت بالای جوامع کانی‌سازی در شناسایی درست مناطق آنومال عنصر طلا، اقدام به جداسازی این جوامع با استفاده از مدل‌سازی نمودار احتمال شد. نتایج این روش چهار جامعه آنومالی و زمینه را فراهم ساخت که این جوامع با تفسیر ژئوشیمی به دو جامعه زمینه و دو جامعه آنومال تفکیک شد. در مرحله بعد نتایج پیاده‌سازی روش چند متغیره آنالیز تمایز روی این مدل،

association of Canada. Mineral Deposits Division, special publication, 5, 49-73.

[۸] تقی‌پور، ب.، احمدنژاد، ف.، ۱۳۹۱، ژئوشیمی زون‌های دگرسان و پهنه برشی با تأکید بر رفتار عناصر نادر خاکی (REE) در کانسار طلای قلقله، کردستان، مجله پترولوژی، سال سوم، شماره دهم، ۶۴-۴۵ ص.

[۹] داداش‌زاده اهری، ه.، افضل، پ.، رشیدنژاد عمران، ن.، ۱۳۹۳، جدایش و دسته‌بندی رگه‌ها از دیدگاه عیاری با استفاده از روش فرکتالی عیار- حجم در کانسار طلای قلقله کردستان، فصلنامه علوم زمین، سال بیست و چهارم، شماره ۹۴، ۲۲۴-۲۱۹ ص.

[10] Hazen, A., 1914, Storage to be provided in the impounding reservoirs for municipal water supply, Transactions of the American Society of Civil Engineers, 77, 1547-1550.

[11] Sinclair, A.J., 1974, Selection of Threshold Values in Geochemical Data Using Probability Graphs, Journal of Geochemical Exploration, 3, 129-149.

[12] Sinclair, A.J., 1976, Application of probability graphs in mineral exploration, the Association Geochemists, p 95.

[13] Sinclair, A.J., 1991, A Fundamental Approach to Threshold Estimation in Exploration Geochemistry, probability plots revisited, Journal of Geochemical Exploration, 41, 1-22.

[14] Stanley, C.R., Sinclair, A.J., 1989, Comparison of probability plots and gap statistics in the selection of threshold for exploration geochemistry data, Journal of Geochemical Exploration, 32, 355-357.

[15] Ghavami-Riabi, R., 2008, Detection of concealed Cu-Zn massive sulfide mineralization below eolian sand and a calcrete cover in the eastern part of the Namaqua Metamorphic Province, South Africa, Journal of Geochemical Exploration, 97, 83-101.

[16] Elisabetta, P., Daniele, P., Andrea, D.B., Stefano, Gh., 2014, Natural background level assessment in groundwaters: probability plot versus pre-selection method, Journal of Geochemical Exploration, 143, 43-53.

[17] Clemens, R., Patrice, D.C., 2017, Establishing geochemical background variation and threshold values for 59 elements in Australian surface soil, Science of The Total Environment, 578, 633-648.

- 7- Stepwise
- 8- Original
- 9- Cross-Validation
- 10- Train
- 11- Test

منابع

[1] Bierlein, F.M., Hughes, D.J., McKnight, S., Reynolds, P., Waldron, H., 2001, Tectonic and economic implications of trace element, ⁴⁰Ar-³⁹Ar and Sm-Nd data from mafic dykes associated with orogenic gold mineralisation in central Victoria, Australia, Lithos, 58, 1-31.

[2] Groves, D.I., Goldfarb, R.J., Knox-Robinson, C.M., Ojala, J., Gardoll, S., Yun, G., Holyland, P., 2000, Late-kinematic timing of orogenic gold deposits and significance for computer-based exploration techniques with emphasis on the Yilgarn block, Western Australia. Ore Geology Reviews, 17, 1-38.

[3] Ghavami-Riabi, R., Seyedrahimi-Niaraq, M.M., Khalokakaie, R., Hezareh, M.R., 2010, U-spatial statistic data modeled on a probability diagram for investigation of mineralization phases and exploration of shear zone gold deposits, Journal of Geochemical Exploration, 104, 27-33.

[۴] سیدرحیمی‌نیارق، م.م.، قوامی‌ریابی، ر.، خالوکاکایی، ر.، هزاره، م.ر.، هندی، ر.، ۱۳۹۰، مقایسه نتایج حاصل از مدل‌سازی داده‌های ژئوشیمیایی کانی‌سازی طلا بر روی نمودارهای احتمال و فرکتالی غلظت - مساحت (C-A) در جداسازی زیر جوامع، نشریه علمی پژوهشی روش‌های تحلیلی و عددی در مهندسی معدن، دوره اول، شماره دوم، ۳۱-۲۴ ص.

[5] Li, H., Wang, Q., Deng, J., Yang, L., Dong, Ch., Yu, H., 2019, Alteration and mineralization styles of the orogenic disseminated Zhenyuan gold deposit, southeastern Tibet: Contrast with carlin gold deposit, Geoscience Frontiers, 10, 1849-1862.

[6] Moradpouri, F., Ghavami-Riabi, R., 2020, A Multivariate Geochemical Investigation of Borehole Samples for Gold Deposits Exploration, Geochemistry International, 58, 40-48.

[7] Dube, B., Gosselin, P., 2007, Greenstone-hosted quartz- carbonate vein deposits. In: Goodfellow, W. D. (Ed.) Mineral deposits of Canada: A synthesis of major deposit- type, district metallogeny, the Evolution of geological provinces and exploration methods: geological

analysis and geostatistical simulation; case-study of Gazestan deposit, central Iran. *Journal of Mining and Environment* 10, 929-945.

[27] Roshani, P.; Mokhtari, A.R.; and Tabatabaei, S.H.; 2013, "Objective based geochemical anomaly detection — Application of discriminant function analysis in anomaly delineation in the Kuh Panj porphyry Cu mineralization (Iran); *Journal of Geochemical Exploration*; 130; 65–73.

[۲۸] گرانیان، ح.، طباطبائی، س. ح.، اسدی، ه.،

محمدی، آ.، ۱۳۹۴، کاربرد روش آنالیز تمایز و ماشین بردار پشتیبان مرحله‌ای در مدلسازی کانی‌زایی کنسارهای طلای داشکسن، نشریه علمی پژوهشی مهندسی معدن، دوره دهم، شماره ۲۸، ۵۳–۶۵ ص.

[۲۹] هندی، ر.، حسنی‌پاک، ع.، کاربرد روش آنالیز

تمایز در تهیه کلید اکتشافی در ذخایر مس با میزبان رسوبی در بلوک طبری راور، نشریه علمی پژوهشی مهندسی معدن، دوره هشتم، شماره ۲۰، ۶۲–۴۷ ص.

[۳۰] زارع، م.، مرادزاده، ع.، کامکار روحانی، ا.،

۱۳۹۸، دولتی ارده‌جانی، ف.، رده‌بندی داده‌های ژئوشیمیایی زیست‌محیطی با روش آنالیز تمایز و شبکه عصبی در باطله‌های سرب و روی تپ سولفیدی کربناتی، نشریه علمی پژوهشی مهندسی معدن، دوره چهاردهم، شماره ۴۴، ۲۵–۱۲ ص.

[31] Mohajjel, M., Fergusson, C.L., Sahandi, M.R., 2003, Cretaceous-Tertiary convergence and continental collision, Sanandaj-Sirjan Zone, western Iran, *Journal of Asian Earth Science*, 21, 397-412.

[32] Niromand, S., Goldfarb, R.J., Moore, F., Mohajjel, M., Marsh, E.E., 2011, The Kharapeh orogenic gold deposit: geological, structural, and geochemical controls on epizonal ore formation in West Azerbaijan province, Northwestern Iran. *Mineralium Deposita*, 46, 409-428.

[33] Agard, P., Omrani, J., Jolivet, L., Mouthereau, F., 2005, Convergence history across Zagros (Iran): constraints from collisional and earlier deformation, *International Journal of Earth Science*, 94, 401-419.

[34] Arvin, M., Pan, Y., Dargahi, S., Malekizadeh, A., Babaei, A., 2007, *Petrochemistry of the Siah-Kuh granitoid stock*

[18] Fisher, R.A., 1936, The use of multiple measurements in taxonomic problems, *Annals of Eugenics*, 7, 179-188.

[۱۹] حسنی پاک، ع.، ۱۳۸۰، تحلیل داده‌های

اکتشافی، انتشارات دانشگاه تهران، تهران.

[۲۰] منصورفر، ک.، ۱۳۸۵، روش‌های پیشرفته

آماري همراه با برنامه‌های کامپیوتری، انتشارات دانشگاه تهران، تهران.

[21] Ghannadpour, S.S., Hezarkhani, A., 2016, Exploration geochemistry data-application for anomaly separation based on discriminant function analysis in the Parkam porphyry system (Iran), *Geosciences Journal*, 20, 837-850.

[22] Yousefi, M., Kamkar-Rouhani, A., Carranza, E. J. M., 2012. Geochemical mineralization probability index (GMPI): a new approach to generate enhanced stream sediment geochemical evidential map for increasing probability of success in mineral potential mapping. *Journal of Geochemical Exploration*, 115, 24-35.

[23] Afzal, P., Mirzaei, M., Yousefi, M., Adib, A., Khalajmasoumi, M., Zia Zarifi, A., Foster, P., Yasrebi, A.B., 2016. Delineation of geochemical anomalies based on stream sediment data utilizing fractal modeling and staged factor analysis. *Journal of African Earth Sciences* 119, 139-149.

[24] Ghannadpour, S. S.; Hezarkhani, A.; 2016, "Exploration geochemistry data-application for anomaly separation based on discriminant function analysis in the Parkam porphyry system (Iran)"; *Geosciences Journal*; 1-14; DOI 10.1007/s12303-015-0064-8.

[25] Afzal, P., Yousefi, M., Mirzaei, M., Ghadiri-Sufi, E., Ghasemzadeh, S., Daneshvar Saein, L., 2019. Delineation of podiform-type chromite mineralization using Geochemical Mineralization Prospectivity Index (GMPI) and staged factor analysis in Balvard area (southern Iran). *Journal of Mining and Environment* 10: 705-715.

[26] Soltani, F., Moarefvand, P., Alinia, F., Afzal, P., 2019. Characterizing Rare Earth Elements by coupling multivariate analysis, factor

سیستم های اطلاعات جغرافیایی GIS، انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

[۴۳] سیدرحیمی نیارق، م. م.، ۱۳۸۷، تفکیک

آنومالیهای ژئوشیمیایی با استفاده از روشهای فرکتال و آمار فضایی U و مقایسه نتایج آن با روش مدل‌سازی نمودارهای احتمال، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی شاهرود، ۱۴۸ ص.

[۴۴] قوامی‌ریایی، ر.، سیدرحیمی‌نیارق، م. م.،

خالوکاکی، ر.، هزاره، م. ر.، ۱۳۸۹، رفتار و اختصاصات ژئوشیمیایی مناطق کانی‌سازی طلای پهنه‌های برشی کردستان، نشریه علمی پژوهشی مهندسی معدن، دوره پنجم، شماره نهم، ۳۶-۲۷ ص.

[45] Hubert, M., Van D.K., 2004, Fast and Robust Discriminant Analysis, Computational Statistics & Data Analysis, 45, 301-320.

[46] Whitehead, R.E.S., Govett, G.J.S., 1974, Exploration Rock Geochemistry-Detection of Trace Element Halos Heath Steele Mines (N.B. Canada) By Discriminant Analysis. Geochemical Exploration, 3, 371-386.

[47] Divi, S.R., Thorpe, R. I., Frankli, J. M., 1979, Application of Discriminant Analysis to Evaluate Compositional Controls of Stratiform Massive Sulfide Deposits in Canada. Mathematical Geology, 11, 391-406.

[48] Fedikow, M.A.F., Turek, A., 1983, The Application of Stepwise Discriminant Analysis to Geochemical Data from the Host Rocks of the Sullivan Pb-Zn-Ag Deposit, Kimberley, B.C., Canada, Geochemical Exploration, 18, 231-244.

[49] Rao, C.P., Naqvi, I.H., 2007, Sedimentology, geochemistry and discriminant analysis in the engineering geological investigation of damsites, Lower Gordon Area, Tasmania, Journal of the Geological Society of Australia, 28, 141-153.

[50] Zoran, P., Josip, H., 2010, Discriminant function model as a tool for classification of stratigraphically undefined radiolarian cherts in ophiolite zones, Journal of Geochemical Exploration, 107, 30-38.

southwest of Kerman, Iran: implications for initiation of Neotethys subduction, Journal of Asian Earth Science, 30, 474-489.

[35] Alavi, M., 2004, Regional stratigraphy of the Zagros fold-thrust belt of Iran and its proforeland evolution, American Journal of Science, 304, 1-20.

[۳۶] حیدری، س. م.، ۱۳۸۳، کانی‌شناسی،

ژئوشیمی و فابریک کانه زایی طلا در پهنه‌برشی خمیری منطقه کرویان، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس، ۱۵۰ ص.

[۳۷] حریری، ع.، ۱۳۸۲، گزارش نقشه زمین-

شناسی ورقه ۱/۱۰۰۰۰۰ سقز، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ایران.

[۳۸] افتخارنژاد، ا.، نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰

مهاباد، ۱۳۵۲، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

[۳۹] حسنی‌پاک، ع. ا.، ۱۳۷۸، اکتشافات

ژئوشیمیایی سیستماتیک در محدوده برگه ۱:۱۰۰۰۰۰ آلوت در غرب برگه ۱:۱۰۰۰۰۰ سقز، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

[۴۰] ابوالعالی، ش. د.، علوی، م.، ذعیم‌فرحزاری، ن.،

۱۳۷۷، گزارش اکتشافات ژئوشیمیایی سیستماتیک در محدوده برگه ۱:۱۰۰۰۰۰ سقز، انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

[۴۱] مهدی‌زاده، س.، ۱۳۷۷، مطالعات دورسنجی

مقدماتی در ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ سقز به منظور شناسایی و جداسازی واحدهای سنگی مختلف بویژه واحدهای دگرسانی، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

[۴۲] دانشفر، ب.، گیاهچی، پ.، زعیم‌فرحزاری، ن.،

۱۳۷۷، تهیه نقشه‌های مقدماتی پتانسیل مواد معدنی در گستره ورقه سقز با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ با بهره‌گیری از