

رفتار و اختصاصات ژئوشیمیایی مناطق کانی سازی طلای پهنه‌های برشی کردستان

رضا قوامی ریابی^{۱*}، میرمهدی سید رحیمی نیارق^۲، رضا خالوکاکایی^۳ و محمد رضا هزاره^۴

۱- استادیار دانشگاه صنعتی شاهرود، دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک، (E-mail: rghavami2@yahoo.com)

۲- کارشناس ارشد مهندسی اکتشاف معدن، دانشگاه صنعتی شاهرود

۳- دانشیار دانشگاه صنعتی شاهرود، دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک

۴- مجری فنی پروژه‌های طلا، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور

(دریافت ۲۳ اردیبهشت ۱۳۸۸، پذیرش ۹ اسفند ۱۳۸۸)

چکیده

بر اساس بررسی‌های صورت پذیرفته، کانی‌سازی طلا در منطقه کردستان ایران به‌عنوان تیپ طلای پهنه‌های برشی طبقه‌بندی شده است. در این تحقیق به بررسی داده‌های برداشت شده از محیط ثانویه (رسوبات آبراهه‌ای) به منظور ارزیابی اختصاصات ژئوشیمیایی این تیپ کانی‌سازی پرداخته شده است. با توجه به تحلیل خوشه‌ای داده‌ها، اختصاصات ژئوشیمیایی زیرگروه وابسته به کانی‌سازی شامل تنگستن، بیسموت، قلع و برلیوم به‌مراه آرسنیک مورد بررسی قرار گرفته است. مدل‌سازی نمودار احتمال عناصر این زیرگروه منجر به شناسایی و تفکیک مناطق آنومال شده و بر این اساس اختصاصات ژئوشیمیایی کانی‌سازی طلای پهنه برشی کردستان تفسیر شده است. پراکندگی فضایی دو بعدی مناطق آنومال عناصر قلع و تنگستن ارتباط مستقیم با طلا داشته و بیسموت بطور معکوس با طلا مرتبط است. آرسنیک وابستگی و آنومالی چندانی را در این محیط از خود نمایش نداده است.

ارتباط قابل توجهی بین اختصاصات ژئوشیمیایی محیط ثانویه منطقه کانی‌سازی طلای پهنه برشی کردستان با اختصاصات محیط اولیه ذخایر مشابه آن در نقاط دیگر دنیا بدست آمده است. این تشابه رفتاری به لحاظ اکتشافی بر اهمیت استفاده از الگوهای به‌دست آمده در محیط اولیه و توان توسعه آن برای محیط ثانویه تأکید می‌نماید.

کلمات کلیدی

طلای پهنه برشی، اختصاصات ژئوشیمیایی، مناطق آنومال، کانی‌زایی، تحلیل خوشه‌ای

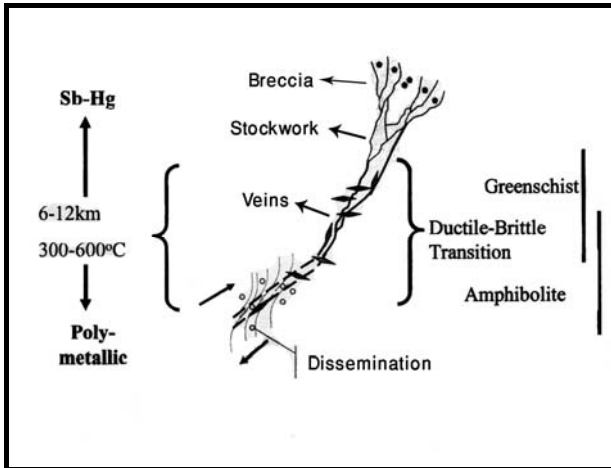
۱- مقدمه

نهشته‌های طلای پهنه‌های برشی در گروه ذخایر کوهزایی که همراه با کمربندهای دگرگونی (شامل دو نوع سنگ ولکانیکی و رسوبی) به سن آرکنن میانی تا ترشیاری واقع می‌شوند، قرار می‌گیرند [۱]. فعالیت‌های کوهزایی در این مناطق عامل تزریق توده‌های گرانیتوئیدی محسوب می‌گردند. بالا بودن عیار طلا در پهنه برشی کردستان مرتبط با نفوذ توده‌های گرانیتوئیدی به منطقه و واحدهای میلوئیتی- اولترامیلونیتی معرفی گردیده است [۲].

تغییرات حرارت و عمق کانی‌سازی می‌تواند موجب تغییراتی در نوع کانی‌سازی گردد. در مناطق عمیق‌تر این پهنه‌ها رفتار سنگ‌ها معمولاً به صورت شکل‌پذیر و در نواحی کم‌عمق‌تر به شکننده تغییر می‌یابد که در واقع معرف شدت دگرگونی نیز می‌باشد (شکل ۱). بر همین اساس شکل ذخایر تشکیل شده از حالت پراکنده تا رگه‌ای، استوک ورکی و برشی متغیر می‌باشد [۳]. مرز گذر از رفتار شکل‌پذیر به شکننده که همراه با ذخایر رگه‌ای می‌باشد در حد دگرگونی بین رخساره آمفیبولیتی تا شیست سبز واقع می‌گردد. لذا در این مناطق طیف وسیعی از ذخایر پلی متال تا پاراژنهای درجه حرارت و فشار پایین می‌توانند تشکیل گردند.

از ویژگی‌های جریان هیدروترمالی در ذخایر طلای پهنه‌های برشی می‌توان به مهاجرت طلا به صورت ترکیبات بی‌سولفیدی از $Au(HS)^-$ یا $Au(HS)^0$ اشاره کرد که در دماهای بالا حضور ترکیبات کلروری از $AuCl_4^-$ نیز می‌تواند مهم باشد. میزان شوری پایین (درصد وزنی NaCl کمتر از ۶٪، که در آن $Na > Ca > K > Mg$)، دمای معمولاً ۴۰۰-۲۰۰ سانتی‌گراد، pH=۵-۶، درصد مولی $CO_2 \pm CH_4$ بین ۵-۳۰ درصد و فعالیت بیشتر $f(O_2)$ و S در نهشته‌های دما بالا از دیگر ویژگی‌های این تپ کانسارها محسوب می‌شود [۳].

بررسی گسترش هاله‌های پراکندگی ژئوشیمیایی عناصر در اطراف برخی از این ذخایر گویای آن است که دو عنصر آرسنیک و آنتیمون هاله‌های وسیعی را در سنگ درونگیر غیر دگرسان شده اطراف کانسار از خود نشان می‌دهند (شکل ۲). برعکس، گسترده‌گی هاله عناصری مانند بیسموت و سدیوم در فواصل نزدیک منطقه کانی‌سازی بوده و نقره در مجاورت آن بیشترین تمرکز را از خود نشان می‌دهد [۱]. غالباً کانی‌سازی طلا همراه با رگه‌های کوارتزی است.



شکل ۱: تغییرات عمق، درجه حرارت و فشار حاکم بر محیط و نقش آن بر تغییر ساختار، تیپ و پاراژنهای کانی‌سازی [۷]

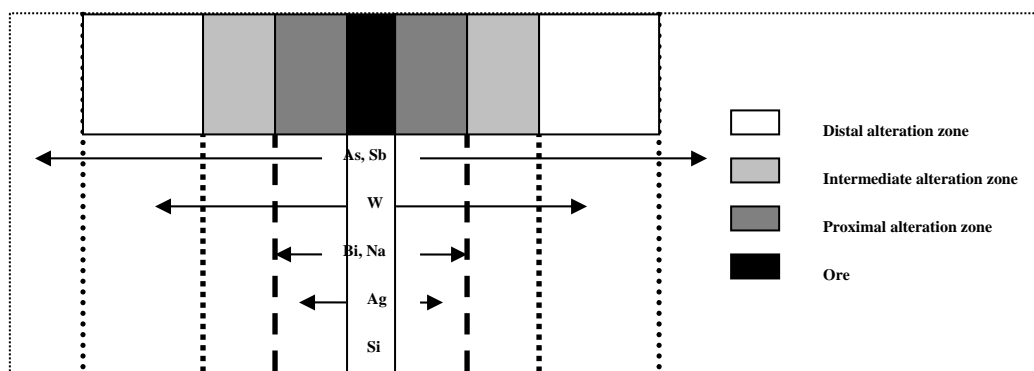
در خصوص پاراژنهای فلزی و عناصر همراه طلای پهنه‌های برشی نظرات زیادی ذکر شده است که به‌نظر می‌رسد این نظرات هر یک از جنبه خاصی به بررسی هاله‌های ژئوشیمیایی مرتبط با این تیپ ذخیره پرداخته و دارای مشترکات قابل ملاحظه‌ای می‌باشند. در تحلیل ژئوشیمیایی عناصر پاراژن، بررسی بخشی از تغییرات غلظت عناصر که حاصل اثرات کانی‌سازی می‌باشند می‌تواند بسیار موثرتر باشد تا اینکه به تحلیل کلیه داده‌های موجود از منطقه پرداخته شود. برای این منظور لازم است تا اثر زمینه که ناشی مولفه پتروژن می‌باشد از آنومالی که نتیجه فرآیند کانی‌سازی می‌باشد تفکیک گردد [۴]، [۵] و [۶]. روش‌های متنوعی به منظور تفکیک آنومالی‌های ژئوشیمیایی موجود می‌باشند، که از جمله آنها به روش‌های فرکتال [۷]، [۸] و [۹]، آمار فضایی U [۱۰]، [۱۱]، [۱۲] و [۱۳] فازی [۱۴]، مدل‌سازی نمودار احتمال [۱۵]، [۱۶]، [۱۷]، [۱۸]، [۱۹]، [۲۰] و [۲۱] و غیره می‌توان اشاره نمود. در این مقاله از روش مدل‌سازی داده‌های نمودار احتمال کمک گرفته شده است و مولفه آنومال کلیه پاراژنهای طلا بعد از حذف اثر زمینه محاسبه گردیده است.

در این مقاله بر اساس نمونه‌برداری‌های ژئوشیمیایی صورت پذیرفته از رسوبات آبراهه‌ای (بخش ریز دانه رسوبات)، بعد از مدل‌سازی داده‌ها، به ارزیابی و تفسیر اختصاصات ژئوشیمیایی طلای پهنه‌های برشی منطقه پرداخته شده است. نمونه‌های مذکور برای ۲۱ عنصر تجزیه شده که در ادامه به تجزیه و تحلیل آماری چند متغیره و مدل‌سازی داده‌های مذکور پرداخته شده است.

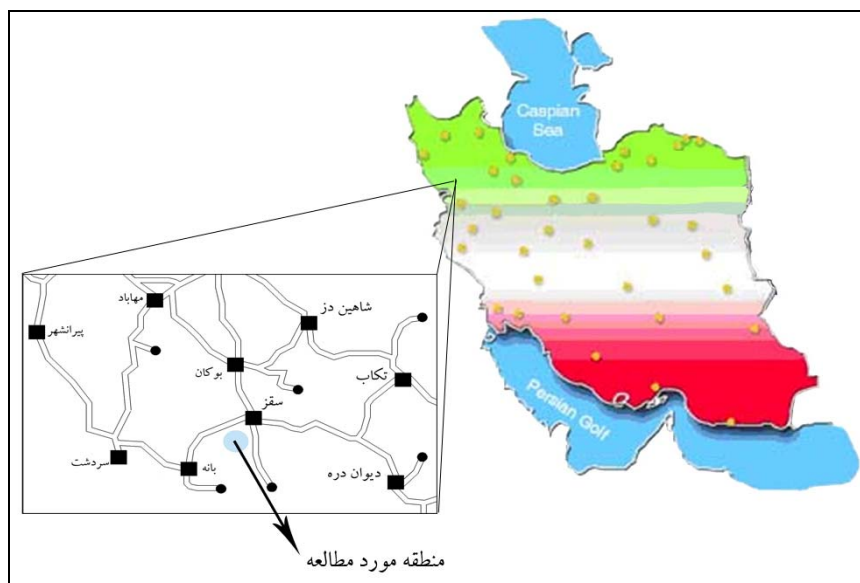
۲- موقعیت زمین شناسی عمومی منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در شمال غرب ایران- کردستان و در فاصله ۲۰ کیلومتری جنوب غرب سقز واقع گردیده است (شکل ۳). از دیدگاه ساختاری، این محدوده در حاشیه شمال باختری نوار دگرگونه سنندج - سیرجان و زون تلاقی این حاشیه با زون‌های ساختاری خوی - مهاباد و البرز - آذربایجان واقع شده است [۲]. قدیمی‌ترین واحد سنگی دگرگونی منطقه شامل مجموعه‌ای از گنایس، شیست، مرمرو و آمفیبولیت (رخساره دگرگونی آمفیبولیت) می‌باشد (شکل ۴). این واحدهای سنگی در بخش‌هایی از منطقه توسط نهشته‌های کربناته- آواری پرکامبرین- کامبرین زیرین (دولومیت‌های سلطانیه)، پرمین و کرتاسه پوشیده شده‌اند. واحدهای اسلیتی و فیلیتی مجموعه دگرگونه با شدت پایین‌تری (رخساره‌های پایین شیست سبز) را

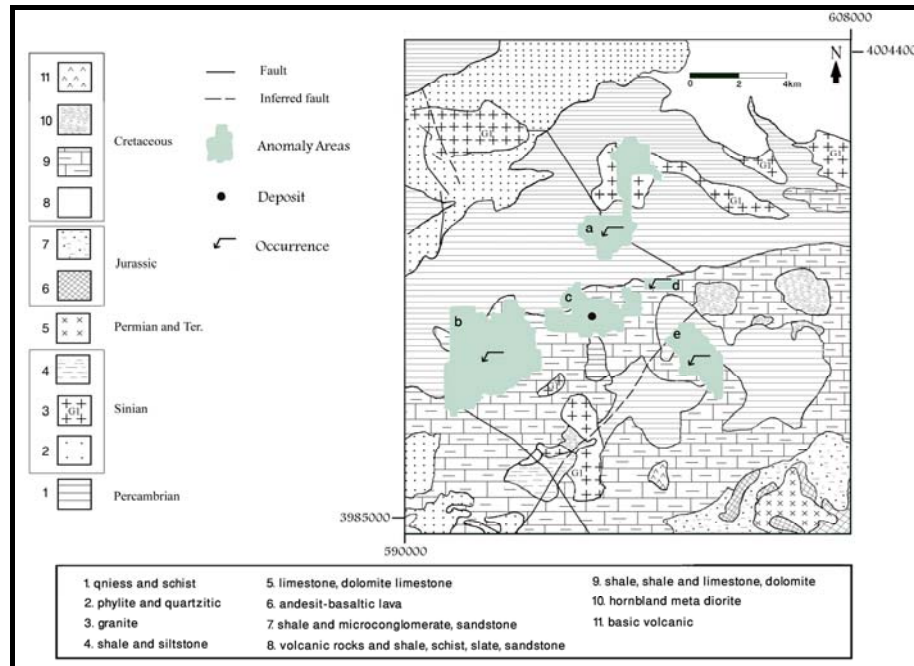
تشکیل می‌دهند که گمان آن می‌رود این مجموعه دگرگونه همسان با نهشته‌های سازند کهر باشند [۲۲]. در بازه زمانی پرکامبرین (G1)، مزوزوئیک و ترسیر نفوذ توده- های گرانیتوئیدی به داخل سنگ‌های دگرگونه قدیمی و پوشش آواری- کربناته پالئوزوئیک منطقه را تحت تاثیر خود قرار داده است (شکل ۴). شرایط زمین‌شناسی فراهم شده علاوه بر ایجاد مناطق برشی و شدیداً تکتونیزه همراه با تشکیل سیالات گرمایی بوده و می‌تواند بعنوان یکی از عوامل کانی‌سازی‌های فلزی در این محدوده محسوب گردد [۲]، [۲۱]. در بررسی‌های اکتشافی صورت پذیرفته توسط سازمان زمین‌شناسی کشور کانی‌سازی طلا پهنه‌های برشی در درون سنگ‌های دگرگونه پرکامبرین شناسایی شده است. اندیس‌هایی از مس نیز در محدوده‌های اطراف این منطقه موجود می‌باشند [۲۲].



شکل ۲: طرح ساده‌ای از گسترش‌هاله‌های پراکندگی ژئوشیمیایی اطراف ذخیره طلای پهنه برشی [۱]



شکل ۳: موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه



شکل ۴: نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه به همراه محدوده تقریبی کانسار (c) و اندیس‌های طلا (a, b, d) و روی این اندیس (e) بر روی این اندیس اطلاعات اکتشافی قابل ملاحظه‌ای موجود نمی‌باشد [۲۲]

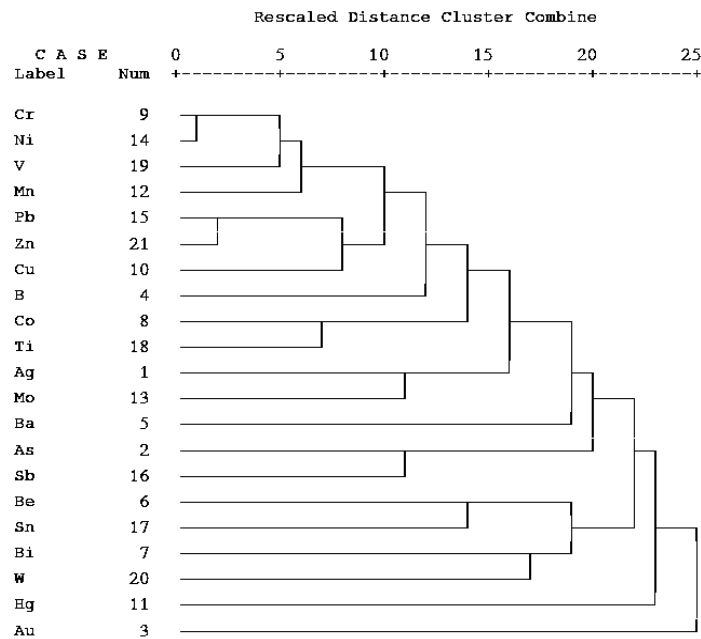
۳-۱- بررسی پراکندگی عناصر مورد مطالعه

نمونه‌برداری ژئوشیمی از رسوبات جدید بستر آبراهه‌ها و ذرات ۴۰- مش انجام گرفته است. از هر نمونه ژئوشیمی حدود ۱۰۰ گرم برداشت شده و به آزمایشگاه نمونه‌کوبی و آماده‌سازی ارسال می‌گردد. این نمونه‌ها پس از پودر شدن و تبدیل به ۲۰۰- مش جهت تجزیه به آزمایشگاه ارسال شده است. نمونه‌های ژئوشیمی ورقه‌سقز تماماً با روش اسپکترومتری نشری و جذب اتمی مورد تجزیه قرار گرفته است. نتایج آنالیز ۲۱ عنصری نمونه‌های برداشت شده از رسوبات آبراهه‌ای در این قسمت مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. برای این منظور از روش‌های تحلیل چند متغیره کمک گرفته شده است تا به ارزیابی سیستم ارتباط بین پارامترهای تجزیه شده پرداخته شود [۲۱]. روشی که در این قسمت مورد استفاده قرار گرفته، تحلیل خوشه‌ای بوده که دندوگرام مربوطه در شکل ۵ آورده شده است.

در بررسی اختصاصات ژئوشیمیایی طلای پهنه برشی، عنصر طلا از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. دندوگرام پارامترهای مورد مطالعه گویای آن است که عنصر طلا به‌همراه عناصر جیوه، تنگستن، بیسموت، قلع و برلیوم در زیرگروه مقابل کرم، نیکل، وانادیم، منگنز، سرب، روی، مس، آنتیمون و آرسنیک قرار گرفته است. بررسی برخی از اختصاصات آماری طلا (توزیع و پراکندگی، پارامترهای مرکزیت و ...) با سایر عناصر تایید کننده روند و تشابه رفتاری طلا با عناصر زیرگروه مشخص شده

آن در دندوگرام می‌باشند. ویژگی‌های ژئوشیمیایی طلا و عناصر مرتبط در منطقه مورد مطالعه توسط بخش قابل ملاحظه‌ای از اختصاصات ژئوشیمیایی بدست آمده از کانی‌سازی‌های مشابه در نقاط دیگر دنیا (شکل ۲) نیز مورد تایید قرار می‌گیرد. زیرگروه عناصر مرتبط با طلا انتخاب شده، ولی با توجه به اینکه عنصر As در بررسی ذخایر طلا از اهمیت بالایی برخوردار است و عنصر Hg نیز در محدوده کانی‌سازی هاله نمی‌دهد لذا در این تحقیق بجای عنصر Hg از آن کمک گرفته شد تا از این طریق برخی از اختصاصات ژئوشیمیایی طلای پهنه برشی کردستان نیز بیشتر مورد مطالعه قرار گیرد. وضعیت‌هاله‌های عنصر Sb نیز مشابه عنصر Hg بوده است.

به‌منظور بررسی اثرات کانی‌سازی بر روی عناصر مورد نظر، ابتدا سعی شده تا بخشی از تغییرات غلظت عناصر را که می‌تواند حاصل مولفه پتروژنز یا اثر زمینه باشد را تا حد امکان از بین برده و تحلیل را بر روی بخش آنومال داده‌ها انجام داد. برای این منظور ضمن مدل‌سازی داده‌های نمودار احتمال عناصر مورد نظر، حد آستانه‌ای تعیین گردیده است. به لحاظ فضایی، پراکندگی ژئوشیمیایی عناصر در منطقه مورد مطالعه بررسی شده و محدوده‌های زمینه و آنومالی آنها با یکدیگر مقایسه گردیده‌اند. آنچه لازم است مد نظر قرار گیرد این است که این تحقیق بر روی محیط ثانویه صورت گرفته و اختصاصات ژئوشیمیایی محیط ثانویه طلای پهنه برشی را مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌دهد.



شکل ۵: دندوگرام تحلیل خوشه‌ای داده‌های منطقه مورد مطالعه

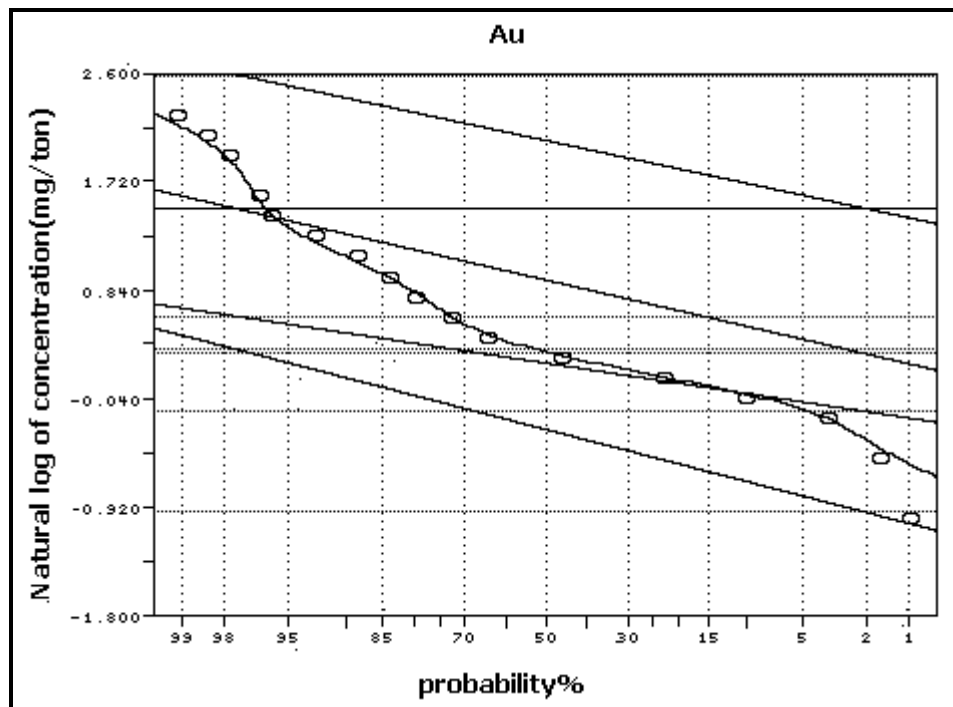
۳-۲- تفسیر نتایج مدل‌گذاری نمودار احتمال

در تحلیل داده‌های ژئوشیمیایی محیط‌های اولیه به دلیل نمونه‌برداری از واحدهای سنگی متنوع و در مطالعه محیط‌های لیتوژئوشیمیایی ثانویه به دلیل اثر قاطی‌شدگی امکان وجود هم‌پوشانی بین زیرجامعه‌ها مختلف وجود دارد. چنانچه بتوان روندهای زیر جوامع را تشخیص و از طریق مدل‌گذاری بر روی داده‌ها آنها را از یکدیگر تفکیک کرد، حد و مرز هر زیر جامعه به صورت مجزا مشخص خواهد گردید. بدین ترتیب امکان آن وجود دارد تا حتی در زیر جامعه آنومال نیز به تحلیل رفتار متغیر مورد مطالعه و مدل‌گذاری مجدد آن پرداخت. در ادامه به مدل‌سازی نمودار احتمال داده‌های طلا در کانی‌سازی پهنه‌های برشی کردستان پرداخته شده و نتیجه مدل‌سازی عناصر دیگر در جدولی به صورت خلاصه ارائه گردیده است.

نمودار احتمال داده‌های طلا در منطقه مورد مطالعه (شکل ۶) گویای قاطی‌شدگی زیرجوامع متعددی در بین داده‌ها می‌باشد. در این شکل دوایر توخالی نشان دهنده داده‌های خام گروه‌بندی شده هستند که روند آنها تغییرات زیادی را از خود نمایش می‌دهند. به منظور آشکارسازی این روندها لازم است تا بر اساس تکنیک‌های حداقل‌سازی انحرافات به مدل‌سازی داده‌ها پرداخته شود. در روند مدل‌سازی لازم است تا تعداد زیرجوامع به گونه‌ای که بر اساس اطلاعات زمین‌شناسی، ژئوشیمیایی و معدنی قابل توجیه باشد، تعیین گردند تا مدل

مربوطه بیشترین انطباق ممکن را با داده‌ها ایجاد نماید. منحنی انطباق یافته بر روی داده‌های خام نشان دهنده نتیجه نهایی مدل‌سازی داده‌های خام است. چهار روند یا زیر جامعه برای داده‌ها در این شکل قابل شناسایی می‌باشد که هر یک از این زیرجوامع روند تغییرات خود را با تغییر شیب از زیر جامعه قبلی و بعدی تفکیک نموده است. زیر جوامع پیشنهادی می‌توانند شامل زیرجامعه زمینه، زیرجامعه منتج از قاطی‌شدگی زیرجامعه آنومال و زمینه و دو زیرجامعه آنومال باشد. در زیرجامعه آنومال ابتدایی اولین فاز کانی‌سازی و احتمالاً اثرات محلول‌های کانه‌دار اثر خود را نمایش داده ولی متعاقب آن، فاز دو کانی‌سازی محتمل با شدتی بیشتر عامل افزایش ناگهانی غلظت‌های طلا گردیده است که توسط داده‌های آنالیز شده نیز مورد تایید قرار گرفته است.

بر اساس مدل‌سازی صورت گرفته بر روی داده‌ها، اختصاصات آماری هر یک از این زیرجوامع بطور مجزا محاسبه گردیده است و نتایج این محاسبات منجر به تعیین حد و مرز هر زیر جامعه و درصد سهم هر زیرجامعه از کل داده‌ها است (جدول ۱). زیرجامعه اول با کمتر از ۵٪ داده‌ها، زیرجامعه دوم با ۴/۸ تا ۶۹٪ داده‌ها، زیرجامعه سوم بین ۶۹ تا ۹۶/۶٪ و نهایتاً زیرجامعه چهارم با کمتر از ۴٪ از کل داده‌ها مشخص شده‌اند. زیر جامعه اول می‌تواند به‌عنوان زمینه، زیرجامعه دوم مرز گذر از زمینه به آنومالی و زیرجامعه سوم و چهارم به‌عنوان زیرجوامع آنومال محسوب گردند. وجود دو بخش آنومال شاید به مفهوم



شکل ۶: نتایج مدل سازی داده‌های عنصر Au

(شکل ۴)، چهار محدوده a, b, c و d شناسایی گردیده است. بخش شمالی منطقه کانی‌سازی a نیز در این روش بصورت یک آنومالی با وسعت کمی مشخص شده است. منطقه کانی‌سازی e که با غلظت‌های پایینی در منطقه شناسایی شده در این نقشه بصورت نقطه‌ای خود را نمایش داده است.

بدین ترتیب در یک‌هاله وسیع و پیوسته با روند NE-SW بخش‌های آنومال از زمینه تفکیک گردیده‌اند و می‌توان بیان کرد که تقریباً کلیه مناطق کانی‌سازی شده طلا با وسعت کوچک یا بزرگ شناسایی شده‌اند.

نتیجه مدل‌سازی نمودار احتمال داده‌های عناصر Sn, W, As و Bi با روشی مشابه آنچه در قسمت فوق برای طلا تشریح گردید انجام گرفته و حد آنومال محاسبه شده برای این عناصر در جدول ۲ خلاصه گردیده است:

جدول ۲: مقادیر حد آستانه‌ای برآورد شده عناصر بر اساس مدل سازی داده‌های نمودار احتمال

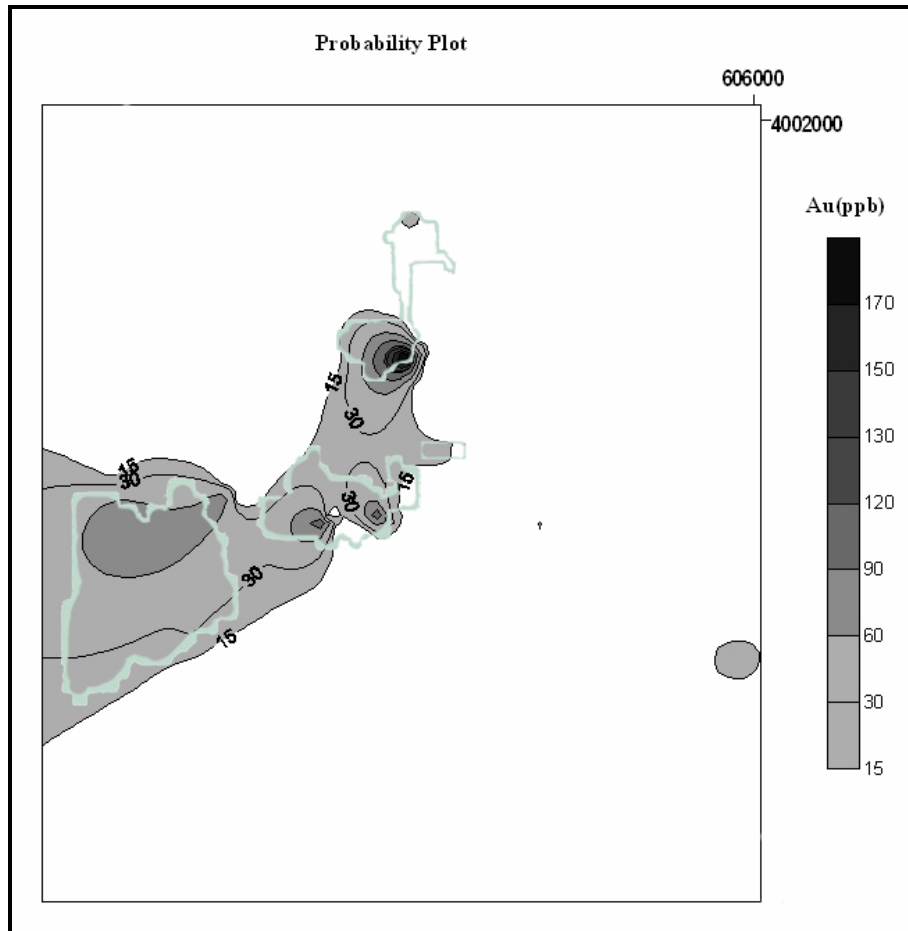
عنصر	مقادیر آستانه (ppm)
Au	۱۵ (ppb)
As	۱۹۷/۷
Bi	۰/۸۳
Sn	۳/۸
W	۵/۸

عملکرد دو فاز با شدت مختلف کانی‌سازی در منطقه محسوب گردد. شدت تاثیر در افزایش غلظت‌های طلا در این دو فاز می‌تواند متفاوت باشد که نتیجه آن دو روند متفاوت را بر روی نمودار احتمال ایجاد کرده است.

جدول ۱: نتایج محاسباتی مدل‌گذاری داده‌های عنصر Au (ppb)

زیرجامعه	درصد	حدود آستانه‌ای ^۱
۱	۴/۸	۰/۱۱-۲/۲۸
۲	۶۴/۵۳	۰/۷۲-۴/۱۶
۳	۲۷/۵۹	۲/۱۱-۳۲/۱۱
۴	۳/۱۶	۳۱/۷۰-۳۸۰/۶۲

بر اساس حدود آستانه‌ای محاسبه شده برای هر یک از این زیرجوامع چهارگانه، از بین داده‌های خام مقادیر غلظت‌های ۵، ۱۵ و ۳۰ ppb که به ترتیب معرف تقریباً حد بالای زیرجامعه دوم، متوسط زیرجامعه سوم و حد بالای زیرجامعه سوم می‌باشد به عنوان مرز جوامع انتخاب شده‌اند. زیر جامعه آنومال از نقشه منحنی تراز نقاط هم غلظت مناطق آنومال دارای حد آستانه‌ای ۱۵ ppb که می‌تواند به عنوان مرکزیت زیرجامعه آنومال اولیه باشد، در شکل ۷ ترسیم گردیده است. همانگونه که در نقشه آنومال (شکل ۷) ملاحظه می‌شود، مناطق کانی‌سازی شده شناسایی شده بر اساس مطالعات اکتشافی در منطقه



شکل ۷: نقشه کنتوری مناطق آنومال با استفاده از روش مدل‌گذاری نمودار احتمال

اطلاعات بدست آمده از ترانشه‌ها و گمانه‌ها) در منطقه مورد مطالعه (شکل ۴) دارد.

در میان عناصر مرتبط با طلا، عناصر قلع، تنگستن، آرسنیک و بیسموت مورد بررسی واقع شده است و نقشه‌های مناطق آنومال آنها جهت مقایسه با طلا در ادامه مورد تفسیر قرار گرفته است (اشکال ۸ و ۹). منطقه آنومال وسیعی از تنگستن با شدت غلظت بالایی (شکل ۸، محدوده B) همپوشانی بسیار عالی با مناطق آنومال طلا دارد. این امر تایید کننده وابستگی نزدیک مشخص شده توسط دندوگرام نیز می‌باشد.

در میان مناطق آنومال مشخص شده برای قلع، دو منطقه آنومال ثبت گردیده است. یکی از مناطق (محدوده A) همپوشانی عالی با محدوده‌های غلظت بالای طلا از خود نمایش می‌دهد. در خصوص منطقه آنومالی دوم قلع (محدوده C)، آنچه با اهمیت به نظر می‌رسد این است که در پایین دست آنومالی قبلی واقع گردیده است.

۳-۳- تجزیه و تحلیل پراکندگی عناصر مورد مطالعه در منطقه

جهت بررسی اختصاصات ژئوشیمیایی طلای پهنه برشی در محیط ثانویه بعد از مدل‌سازی نمودار احتمال عناصر و تعیین مناطق آنومال (اثرات ایپی‌ژنتیک)، سعی شده است تا از نظر فضایی پراکندگی دو بعدی پاراژنرها بررسی گردد. نقشه رنگی پراکندگی ژئوشیمیایی طلا جهت مقایسه مجدداً در این قسمت ترسیم گردیده است.

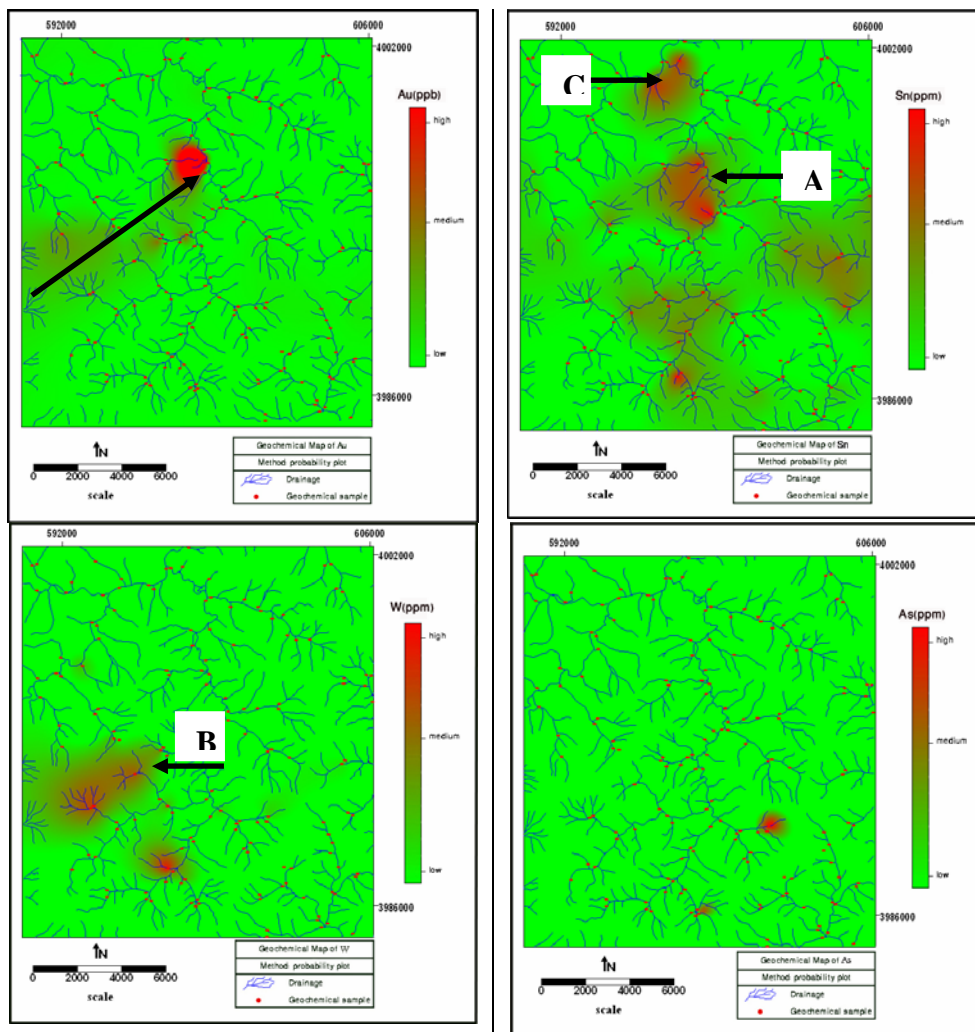
نقشه ژئوشیمیایی مناطق آنومال طلا در شکل ۸ نمایش داده شده است. در این نقشه محدوده آنومال طلا با شدت رنگ متمایل به سیاه و شدت بالای آن با رنگ متمایل به قرمز از زمینه سبز رنگ متمایز گردیده است. روند عمده مناطق امیدبخش منطقه تقریباً NE-SW می‌باشد (با جهت پیکان بر روی نقشه مربوطه مشخص گردیده است) که همپوشانی بسیار عالی با روند عمومی اندیس‌ها و کانسار (تعیین شده بر اساس

قابل ملاحظه‌ای از خود نشان داده و مناطق آنومال A و B را ایجاد کرده است.

بدین ترتیب مشخص گردیده است که عناصر قلع و تنگستن ارتباط قابل ملاحظه‌ای با طلا از خود به نمایش می‌گذارند. این در حالی است که بیسموت رفتاری عکس را نمایش داده و آرسنیک حداقل در وضعیت سطح فرسایش فعلی از خود آنومالی چندانی را نشان نداده است.

آرسنیک در محدوده گسترش غلظت بالای طلا عکس العمل چندانی را از خود نشان نداده است. آنچه در این خصوص می‌تواند مطرح شود وضعیت سطح فرسایش کنونی و یا ارتباط نسبتاً کم این عنصر با کانی‌سازی است. قابلیت تحرک این عنصر را نیز نباید در محیط ثانویه نادیده گرفت.

نتایج مدل‌سازی داده‌های عنصر بیسموت (شکل ۹) گویای آن است که این عنصر در خارج از محدوده کانی‌سازی عکس العمل



شکل ۸: نقشه مناطق امیدبخش عناصر حاصل از روش نمودار احتمال

طلا (بالا- گوشه چپ)، قلع (بالا- گوشه راست)، تنگستن (پایین- گوشه چپ) و آرسنیک (پایین- گوشه راست)

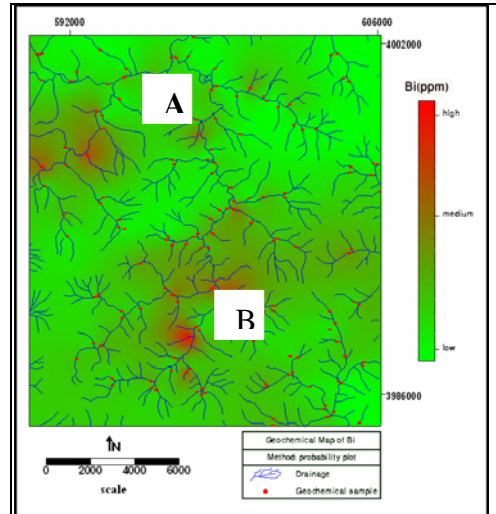
در دسترس بودن این اطلاعات) می‌تواند بسیاری از نتایج به‌دست آمده از داده‌های ژئوشیمیایی را تایید نماید و آنومالی‌های با اهمیت را از منابع آنومال بی اهمیت تفکیک کند.

آنچه لازم به ذکر است این است که در نقشه قسمت فوق ابتدا مولفه زمینه (اثرات پتروژنز) و بخش قاطی شده زمینه با آنومالی (تداخل بخشی از اثرات پتروژنز بر روی مقادیر آنومال) حذف شده و سپس نقشه مقادیر آنومال بدون تداخل بخش زمینه یا بدون اثر پتروژنز ترسیم و تفسیر گردیده اند. تفسیر نتایج به‌دست آمده بر اساس مطالعات کانی سنگین منطقه (و

دسترسی به اطلاعات و نتایج آنالیز شیمیایی نمونه‌های ژئوشیمیایی منطقه کردستان اعلام می‌داریم.

منابع

- [1] Eilu, P., Groves, D. I., 2001, "Primary alteration and geochemical dispersion haloes of Archaean orogenic gold deposits in the Yilgarn Craton: the pre-weathering scenario", *Geochem.: Explor. Environ. Anal.*, Vol. 1, pp 183-200.
- [۲] حیدری، س.م.، ۱۳۸۳، کانی‌شناسی، ژئوشیمی و فابریک کانه-زایی طلا در پهنه‌برشی خمیری منطقه کرویان، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس، ۱۵۰ ص.
- [3] Killick, A., 2003, "Shear zone hosted gold deposits", The Mineral Corporation, Short course note book.
- [4] Reimann, C., Filzmoser, P. & Garrett, R.G, 2005. "Background and threshold: critical comparison of methods of determination", *Science of the total environment*, 346, pp. 1-16.
- [5] Matchullat, J., Ottenstein, R. & Reimann, C., 2000, "Geochemical background- can we calculate it?" *Environmental geology*, 39, pp. 990-1000.
- [۶] حسنی پاک، ع.ا.، شرف‌الدین، م.، ۱۳۸۴، تحلیل داده‌های اکتشافی، انتشارات دانشگاه تهران
- [7] Bolviken, B, stoke, P.R, Feder, J., Josany, T, 1992, "The Fractal Nature of Geochemical Landscapes", *Journal of Geochemical Exploration*, Vol. 43, pp. 91-109.
- [8] Cheng, Q., Agterberg, F.P., Ballantyne, S.B., 1994, "The separation of geochemical anomalies from background by fractal methods", *Journal of Geochemical Exploration*, Vol. 51, pp. 109-130.
- [9] Li, C., Ma, Ti & Shi, J., 2003, "Application of a fractal method relating concentrations and distances for separation of geochemical anomalies from background", *Journal of geochemical exploration*, Vol. 77, pp. 167-175.
- [10] Cheng, Q., Agterberg, F.P. and Bonham-Carter, G.F., 1996, "A spatial analysis method for geochemical anomaly separation", *Journal of geochemical exploration*, Vol. 56, pp. 183-195.
- [11] Cheng, Q., 1999, "Spatial and scaling modeling for geochemical anomaly separation", *Journal of Geochemical Exploration*, Vol. 65, pp. 175-194.



شکل ۹: نقشه مناطق امیدبخش بیسموت حاصل از روش مدل سازی نمودار احتمال

۴- نتیجه‌گیری

تجزیه و تحلیل داده‌های به‌دست آمده از بررسی اختصاصات ژئوشیمیایی طلای پهنه برشی منطقه کردستان در محیط ثانویه (رسوبات آبراهه) گویای ارتباط نزدیک طلا با قلع، تنگستن و بیسموت و عدم تغییرات در آرسنیک است. لازم است که اطلاعات کامل‌تری در خصوص ویژگی‌های عنصر آرسنیک به‌دست آید. مقایسه داده‌ها با نتایج به‌دست آمده از مطالعات کانی سنگین منطقه می‌تواند راهنمای مناسبی در دسترسی به شاخص ارزیابی وضعیت کانی‌سازی و سطح فرسایش کنونی باشد.

بخشی از تغییر رفتار ژئوشیمیایی مشاهده شده در مناطق کانی‌سازی طلای پهنه برشی کردستان با اختصاصات ژئوشیمیایی محیط اولیه ذخایر دیگر نقاط دنیا مشابهت نشان می‌دهد. ضمن بررسی این تشابه رفتاری، می‌توان برخی از الگوهای اکتشافی بدست آمده از محیط اولیه ذخایر مشابه را برای این منطقه بسط داده و ضمن بهره جستن از آنها در مراحل بعدی اکتشافی در اولویت‌بندی مناطق آنومال ژئوشیمیایی جهت بررسی‌های مراحل بعدی به‌عنوان راهنمایی اکتشافی مد نظر قرار داد.

۵- تقدیر و تشکر

بدین وسیله مراتب تقدیر و تشکر خود را از ریاست محترم سازمان زمین‌شناسی کشور و مسئولین و کارشناسان محترم واحد پروژه‌های طلای آن سازمان به علت فراهم نمودن امکان

- [18] Stanley, C.R. and Sinclair A.J., 1989". "Comparison of probability plots and gap statistics in the selection of threshold for exploration geochemistry data", Journal of Geochemical Exploration, Vol. 32, pp. 355-357.
- [19] 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, Vol. 97(2-3), pp. 83-101.
- [20] سیدرحیمی نیارق، م.م.، ۱۳۸۷، مدل گذاری نمودارهای احتمال داده های ژئوشیمیایی به منظور تفکیک آنومالی از زمینه (به همراه مطالعه موردی)، سمینار کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی شاهرود، ۷۰ ص.
- [21] سیدرحیمی نیارق، م.م.، ۱۳۸۷، تفکیک آنومالیهای ژئوشیمیایی با استفاده از روشهای فرکتال و آمار فضایی U و مقایسه نتایج آن با روش مدل سازی نمودارهای احتمال-منطقه سقز، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی شاهرود، ۱۴۸ ص.
- [22] حریری، ع.، نقشه زمین شناسی سقز، ۱۳۸۲، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- [12] Cheng, Q., Xu, Y., Grunsky, E., 2000, "Integrated spatial and spectrum method for geochemical anomaly separation", Natural Resources Research, Vol. 9, pp 43-52.
- [13] Lin, Y. P., 2002, "Multivariate geostatistical methods to identify and map spatial variations of soil heavy metals", Environmental geology, Vol. 42, pp.1-10.
- [14] Kramar, U., 1995, "Application of limited fuzzy clusters to anomaly recognition in complex geological environments", Journal of geochemical exploration, Vol. 55, pp. 81-92.
- [15] Sinclair, A.J., 1974, "Selection of Threshold Values in Geochemical Data Probability Graphs", Journal of Geochemical Exploration, Vol. 3, pp. 129-149.
- [16] Sinclair, A.J. 1981, "Application of Probability Graphs in Mineral Exploration", the Association Geochemists, p. 95.
- [17] Sinclair, A.J., 1991, "A Fundamental Approach to Threshold Estimation in Exploration Geochemistry, probability plots revisited", Journal of Geochemical Exploration, Vol. 41, pp. 1-22.

پی نوشت

¹ Thresholds