



شناسایی هاله‌های پراکندگی دومین و توزیع ژئوشیمیایی عناصر در خاک‌های پیرامون نشانه‌ی معدنی طلا-تنگستن تاریک‌دره، شمال خاوری ایران

جمال قوی^{۱*}، محمد حسن کریم‌پور^۲، سید احمد مظاهری^۱، مجید قادری^۳، بهنام رحیمی^۱

۱- گروه زمین‌شناسی دانشگاه فردوسی مشهد

۲- مرکز تحقیقات معدنی شرق ایران، دانشگاه فردوسی مشهد

۳- گروه زمین‌شناسی دانشگاه تربیت مدرس، تهران

(دریافت مقاله: ۹۰/۷/۲۷، نسخه نهایی: ۹۰/۱۲/۲)

چکیده: منطقه‌ی اکتشافی طلا-تنگستن تاریک‌دره، در شمال شرقی ایران و در مرز زون ساختاری ایران مرکزی و کپه‌داغ قرار دارد. توده‌ی گرانیتوئیدی تربت‌جام مهم‌ترین جلوه‌ی ماگماتیسیم منطقه است که با روندی شمال باختری-جنوب خاوری در نهشته‌های شیلی زغال‌دار، سیلتستونی و ماسه سنگی سازند میانکوهی با سن تریاس، نفوذ و آن‌ها را در اطراف و تا فواصل چند ده متر به هورنفلس تبدیل کرده است. بررسی کانی‌های سنگین در منطقه منجر به شناسایی کانی‌های طلا، شلیت، آرسنوپیریت، مالاکیت، باریت، جاروسیت، هماتیت، مگنتیت، اسپیکولاریت، گالن، پیریت، گارنت شد. برداشت‌های ژئوشیمیایی رسوب‌های رودخانه‌ای نیز بی‌هنجاری-هایی از عناصر As, Cu, Bi, Co, W, Fe, Ti را آشکار نموده و همبستگی مثبت و معنی‌دار طلا با عناصر As, Bi, Cu را نشان داده است. کاوش‌های بعدی روی نمونه‌برداری از خاک‌های برجای پیرامون توده‌های نفوذی متمرکز و با تعیین پارامترهای آماری توزیع عناصر و با برآزش داده‌های لگاریتمی، و استفاده از نتایج آن‌ها، حدود آستانه‌ی بی‌هنجاری و مقادیر کمی بی‌هنجاری‌های ممکن و احتمالی تعیین شدند. در بخش آمار چند متغیره و تحلیل عاملی مجموعه همبسته‌ی عناصر As, Cu, Au, Co, Fe, Mn, Ti, (W, Sb) رابطه‌ی معنی‌دار و آینه‌ی تمام‌نمایی از کانی‌سازی طلا در این منطقه دیده می‌شود. با بررسی‌های انجام شده و یافته‌های وابسته به کانی‌های سنگین، رسوب آبراهه‌ای و خاک، همگونی جالب توجه این محیط‌ها در نمایش ناهنجاری‌های عناصر As, Au و تا حدودی Cu به‌دست آمد. مهم‌ترین نتایج در نقشه‌ی هاله‌های پراکندگی دومین عنصر طلا و ردیاب‌های آن، همچون As, Cu, Bi و نقشه‌ی تحلیل عاملی (F1) و معیار جمعی (Ad)، موید حضور و پتانسیل بالای منطقه‌ی تاریک‌دره از دیدگاه طلاست.

واژه‌های کلیدی: طلا؛ عناصر ردیاب؛ هاله‌های پراکندگی دومین؛ بی‌هنجاری‌های ژئوشیمیایی خاک؛ تاریک‌دره؛ ایران.

مقدمه

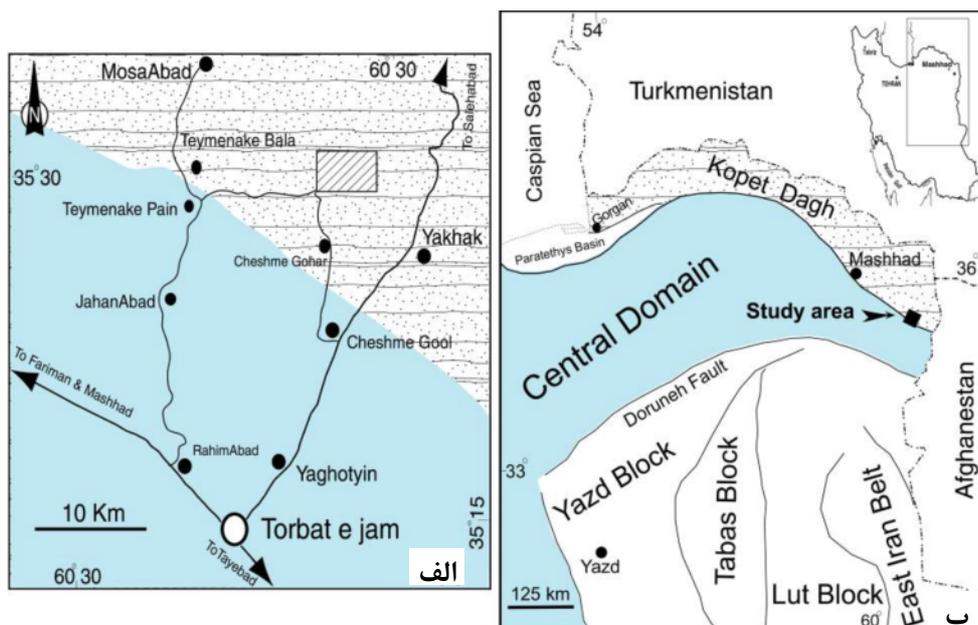
کپه داغ قرار دارد. نفوذ توده‌ی آذرین تربت‌جام به سن تریاس پسین در سنگ‌های رسوبی تریاس میانی-فوقانی، مهم‌ترین جلوه‌ی ماگماتیسیم منطقه است. پیشینه بررسی‌های زمین-شناسی-پی جویی در این ناحیه به سال ۱۳۴۵ و گزارشی مبنی بر شناسایی کانی‌های تنگستن و بی‌هنجاری‌های طلا در

منطقه‌ی اکتشافی تاریک‌دره، در شمال خاوری ایران، استان خراسان رضوی و در ۴۵ کیلومتری شمال تربت‌جام قرار گرفته است (شکل ۱ الف). این منطقه از نگاه کانی‌زایی در راستای کمربند فلززایی بینالود و در مرز زون ساختاری ایران مرکزی و

روش بررسی

این پژوهش مشتمل بر دو بخش بررسی صحرایی و آزمایشگاهی است. بررسی‌های صحرایی آن شامل شناسایی و جدایش واحدهای سنگ‌شناسی-زمین‌شناسی با تاکید بر توده‌های آذرین بوده و مراحل نمونه برداری از رسوب‌های رودخانه‌ای، کانی‌های سنگین و برداشت‌های سیستماتیک از خاک انجام شده است. بررسی‌های آزمایشگاهی در برگیرنده‌ی آماده‌سازی، جدایش و شناسایی کانی‌های سنگین بوده که در داخل کشور صورت گرفته است و تجزیه‌های شیمیایی نمونه‌های رسوب رودخانه‌ای و خاک برای عنصر طلا و ۴۳ عنصر دیگر در آزمایشگاه Amdel کشور استرالیا انجام شده است. به منظور کنترل آزمایشگاه و خطای اندازه‌گیری‌ها، ۶ نمونه‌ی تکراری؛ (۲ نمونه‌ی کانی‌سنگین، ۲ نمونه‌ی رسوب ژئوشیمیایی و ۲ نمونه خاک) از نمونه‌های یاد شده، انتخاب، تجزیه و بررسی شده‌اند. با استفاده از برنامه‌های رایانه‌ای و نرم افزارهای آماری و تخصصی، نتایج آزمایشگاهی به‌دست آمده و یافته‌های صحرایی، پردازش شده و در قالب نقشه‌های جداگانه (با مقیاس ۱:۵۰۰۰) زمین‌شناسی و نقشه‌ی بی‌هنجاری عناصر مورد نظر نمایش داده و تفسیر شده‌اند.

ناحیه چشمه‌گل [۱] بر می‌گردد. بهروزی و همکاران [۲] بررسی‌های زمین‌شناسی ناحیه‌ای منطقه را در قالب تهیه‌ی نقشه‌ی زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ چهارگوش تربت جام به سرانجام رسانده‌اند. اکرمی [۳] ضمن بررسی‌های سنگ‌شناسی توده‌ی نفوذی تربت‌جام و هاله‌ی دگرگونی آن به کانی‌سازی موجود در توده‌ی کوارتز دیوریتی منطقه تاریک‌دره اشاره‌ای کرده است. در سال ۱۳۷۹ بررسی‌های صحرایی و مقدماتی با نگاهی اکتشافی در منطقه تاریک‌دره صورت گرفته و نتایج حاصل توسط خاکزاد و همکاران [۴] ارائه شده است. طی سال‌های ۱۳۸۱ تا ۱۳۸۵، سازمان زمین‌شناسی کشور، پی‌جویی ژئوشیمیایی سیستماتیک و نقشه‌ی زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ ورقه‌ی تربت جام را سازماندهی و منتشر کرده است، که ضمن تهیه‌ی نقشه زمین‌شناسی یاد شده و آنالیزهای انجام گرفته، پتانسیل اقتصادی توده‌ی کوارتز دیوریتی تاریک‌دره از نظر ذخیره‌ی طلا نیز ارزیابی شده است [۵، ۶]. سازمان صنایع و معادن استان خراسان رضوی نیز در این منطقه، پی‌جویی‌های انجام داده است [۷]. بررسی‌های تکمیلی و تفصیلی از سال ۸۷ توسط مؤلفان در دست انجام است و این نوشتار اطلاعات تقریباً کاملی از بررسی‌های انجام شده در خصوص مسائل زمین‌شناسی و اکتشافی این منطقه را ارائه می‌کند.



شکل ۱ الف) موقعیت جغرافیایی و راه‌های دسترسی به گستره‌ی مورد بررسی که با هاشور مشخص شده‌است، ب) پهنه‌ی مورد بررسی در شمال-خاوری ایران و در مرز زون ساختاری ایران مرکزی و کپه‌داغ قرارداد (بر اساس [۹]).

ها در حاشیه‌ی سنگ‌های نفوذی شده‌است. دگرگونی یاد شده در حد رخساره‌ی آلبیت-اپیدورت-هورنفلس بوده و رخنمون آن در بخش مرکزی گستره پی‌جویی تاریک دره، قابل جدایش و مشاهده است (شکل ۲). رسوب‌های کواترنر متشکل از سطوح خاکی، تراس‌های قدیمی، رسوب‌های مخروط افکنه و آبراهه‌ها هستند که واحدهای قدیمی‌تر و دامنه‌ی ارتفاعات و فروافتادگی‌ها بین بلندی‌ها را پوشانیده‌اند. رسوب‌های بستر آبراهه‌ها شامل واریزه‌هایی زاویه دار تا گرد شده از سنگ‌های بالادست بوده که ابعاد قطعات آن بسیار متنوع و به‌صورت منفصل و سخت نشده‌اند.

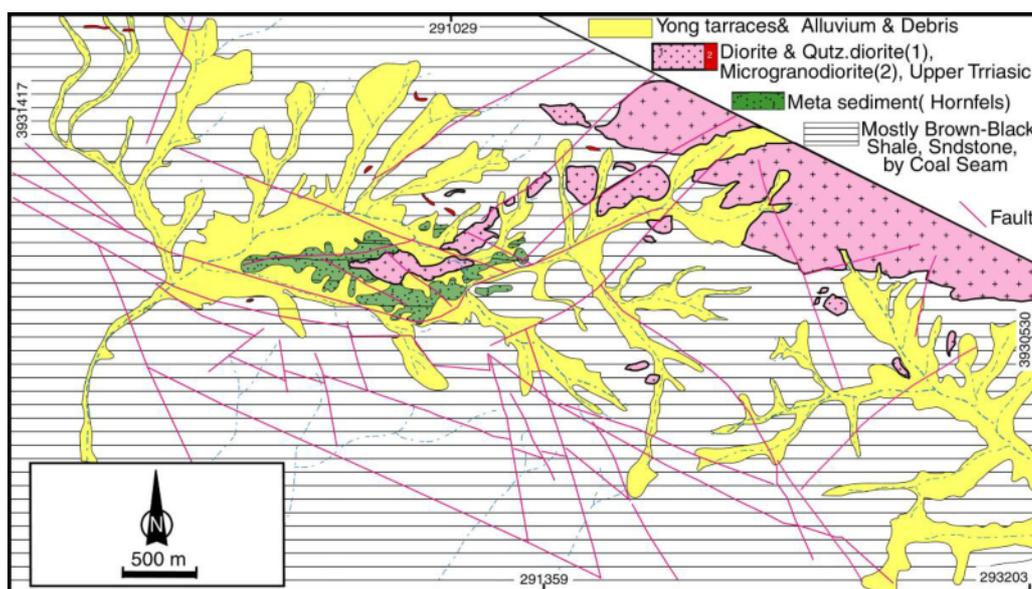
بررسی‌های اکتشافی

بررسی‌های اکتشافی در گستره‌ی مورد بررسی بر پایه پی-جویی‌های رودخانه‌ای، ژئوشیمی رسوب‌های آبراهه‌ای و تجزیه کمی عناصر در نمونه‌های برجای خاک، برنامه‌ریزی شده است. نمونه برداری از رسوب‌های رودخانه‌ای، به‌منظور شناسایی کانی‌های سنگین و ژئوشیمیایی رسوب‌ها، آغاز و به دنبال نتایج به‌دست آمده، برداشت ۲۴۶ نمونه خاک در قالب شبکه بندی منظم نیز طراحی و انجام شده است (شکل ۳). شناسایی و ثبت هاله‌های پراکنده‌ی دومین عناصر در خاک‌ها و کنترل آن‌ها از طریق بررسی‌های لیتوژئوشیمیایی، راهگشای اکتشاف‌های تکمیلی و در تعیین گستره و ردیابی ریشه‌ی توده‌ی معدنی مفید می‌باشد [۱۳، ۱۲].

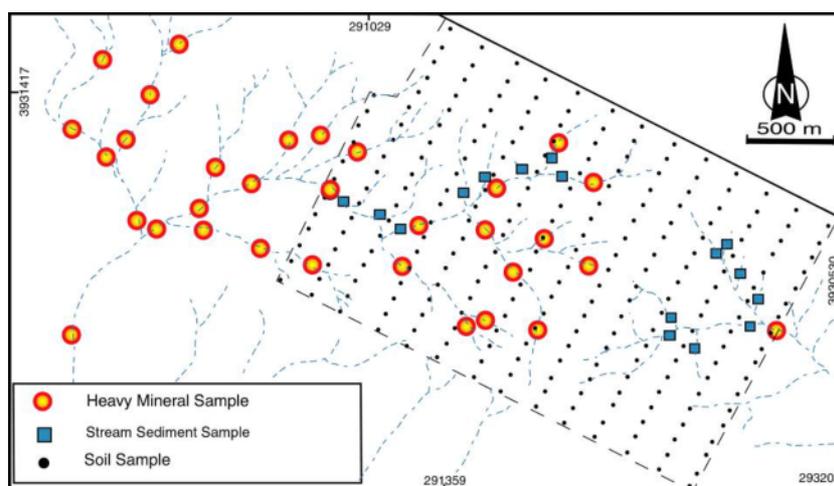
زمین‌شناسی و موقعیت زمین ساختی منطقه

این منطقه در گوشه‌ی شمال‌خاوری ایران و در حد فاصل زون زمین‌ساختی ایران مرکزی و پهنه‌ی کپه‌داغ قرار دارد و ادامه‌ی شرقی کمربند کانی‌زایی رشته کوه‌های بینالود است (شکل ۱ ب). سرشته‌ی زمین‌شناسی این کمربند، بسوی خاور و در خارج از مرز ایران و هم‌روند و در راستای کوهزاد هندوکش-همالیای نیز قابل تعقیب است [۸].

کهن‌ترین و چشمگیرترین پیکره‌ی رسوبی منطقه‌ی مورد بررسی سازند شیلی-ماسه سنگی میانکوهی است (شکل ۲) که شامل شیل‌های تیره رنگ همراه با تناوبی از سیلستون و ماسه سنگ ریز دانه است. این سازند از دو بخش زیرین (در بردارنده‌ی لایه‌های زغال‌دار همراه با ماسه سنگ خاکستری و شیل‌های کبود) و بخش بالایی (تنها از شیل) تشکیل شده است که تحت تاثیر دگرگونی ناحیه‌ای ضعیفی نیز قرار گرفته است. روتنر (۱۹۹۱) در ناحیه‌ی آق‌در بند (شمال منطقه‌ی مورد بررسی) سن این سازند را تریاس فوقانی (نورین تا رسین زیرین) تعیین کرده [۱۰] و با توجه به شناسایی سنگواره روزنه داران کفزی با پوسته‌ی آهکی، محیط رسوب‌گذاری غیر قاره-ای برای بخش بزرگ این سازند در نظر گرفته شده است [۱۱]. نفوذ چند توده و تعدادی دایک گرانیتوئیدی (اغلب با سن نسبی تریاس بالایی) و با طیف سنگ‌شناسی دیوریت، کوارتز دیوریت و میکروگرانیت در شیل‌ها و ماسه سنگ‌های سازند میانکوهی موجب دگرگونی مجاورتی و هورنفلسی شدن رسوب-



شکل ۲ نقشه‌ی زمین‌شناسی گستره‌ی اکتشافی تاریک‌دره.



شکل ۳ موقعیت و طرح نمونه‌برداری کانی‌های سنگین، ژئوشیمی رسوب‌های رودخانه‌ای و خاک را نشان می‌دهد.

مغناطیسی زیاد (AA)، ضعیف (AV) و نامغناطیسی (NM) نیز تفکیک شدند. با توجه به مشخصات بلورشناسی و با میکروسکوپ دوچشمی کانی‌های موجود در هر بخش شناسایی و درصد حجمی (نسبت هر بخش به کل کانی‌های سنگین) آن‌ها تعیین شد. سپس مقادیر وزنی کانی‌های سنگین و کمی کردن، یافته‌های کیفی، انجام و در نتیجه مقدار گرم بر تن کانی‌های سنگین مورد نظر در رسوب‌های آبراهه‌ای منطقه مورد نظر محاسبه شده است [۱۴].

نتایج به‌دست آمده از بررسی نمونه‌های کانی‌های سنگین نشان می‌دهد که کانی‌های آمفیبول، آاناتاز، آپاتیت، آرسنوپیریت، باریت، بروشانتیت، سروزیت، سرسیت، فلوریت، گاهنیت، گالن، گارنت، گوتیت، هماتیت، هورنبلند، جاروسیت، لوکوکسن، لیمونیت، مگنتیت، مالاکیت، فلوگوپیت، پیرومورفیت، پیریت، اکسید پیریت، پیروکسن، روتیل، شلیت، اسپیکولاریت، اسمیت زونیت، اسفن، استارولیت و زیرکان در رسوب‌های حوضه‌ی آبریز گستره‌ی مورد بررسی حضور دارند. کانه‌ی طلا در سه نمونه به‌صورت آزاد با قطر متوسط ۶۲-۱۲۵ میکرون و به شکل‌های فیبری و شاخه‌داری با گردشگی کم و به‌صورت نیمه‌زاویه دار نیز شناسایی شده‌اند. با استفاده از نتایج ۲ نمونه تکراری و پس از به‌دست آوردن پارامترهای آماری لازم، خطای اندازه‌گیری برای کانی‌های طلا، شلیت و جاروسیت در حد قابل قبول بوده ولی مقدار خطای اندازه‌گیری-های کانی‌های هماتیت، مگنتیت، پیریت قابل توجه و غیر قابل چشم‌پوشی گزارش شده است [۴]. مکان تمرکز و نقشه‌های پراکندگی کانی‌های سنگین ارزشمند و مرتبط به کانی‌سازی،

برای طراحی شبکه‌ی نمونه‌برداری از رسوب‌های آبراهه‌ای، نخست گستره‌ی حوضه‌ی آبریز و طرح کلی آبراهه‌های اصلی منطقه از نقشه‌های توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ موسی آباد و یاقوتین و عکس‌های هوایی ۱:۲۰۰۰۰ پیاده و ترسم و در مراکز ثقل توپولوژیکی آبراهه، بهینه‌ترین نقاط برداشت نمونه‌ها تعیین شد و با در نظر داشتن بودجه و مقیاس عملیات، تعداد ۳۲ نمونه برای آگاهی از کانی‌های سنگین و ۱۶ نمونه‌ی ژئوشیمیایی رسوبی (پس از بررسی‌های کانی‌سنگین) انتخاب و برداشت شدند (شکل ۳). با در اختیار داشتن نقشه‌ی شبکه‌ی نمونه‌برداری در مسیر آبراهه‌ها و عمود بر راستای آن و برای برداشت نمونه‌ای معرف از پیرامون نقطه‌ی مورد نظر (تا شعاع ۱۰ متر)، و با حفر تعدادی چاله با عمق تقریبی ۱۰ تا ۲۵ سانتیمتر، کار برداشت صورت گرفت. وزن تقریبی هر نمونه کانی سنگین ۵ کیلوگرم رسوب خشک حاصل از الک ۲۰ مش (ذرات با اندازه کمتر از ۸۴۰ میکرون) و نمونه‌ی ژئوشیمیایی ۵۰ گرم رسوب خشک باقی مانده در زیر الک ۸۰ مش (ذرات با اندازه‌ی کمتر از ۱۷۷ میکرون) بوده است که پس از برداشت در کیسه‌ی پلاستیکی مناسب بسته‌بندی و به آزمایشگاه منتقل شد.

شناسایی کانی‌های سنگین

آماده‌سازی، جدایش و شناسایی کانی‌های سنگین در شرکت آلومینای ایران (آزمایشگاه کرج) صورت گرفته است. نخست نمونه‌ها گل‌شویی شده سپس با لاک‌شویی، تغلیظ کانی‌های سنگین صورت گرفت و در مرحله بروموفرم‌گیری کانی‌های سنگین با چگالی بیش از ۲/۹۴ گرم بر سانتی متر مکعب از کانی‌های سبک جدا شدند، با استفاده از دو میدان مغناطیسی قوی و متوسط، کانی‌های سنگین به ۳ بخش کانی با خاصیت

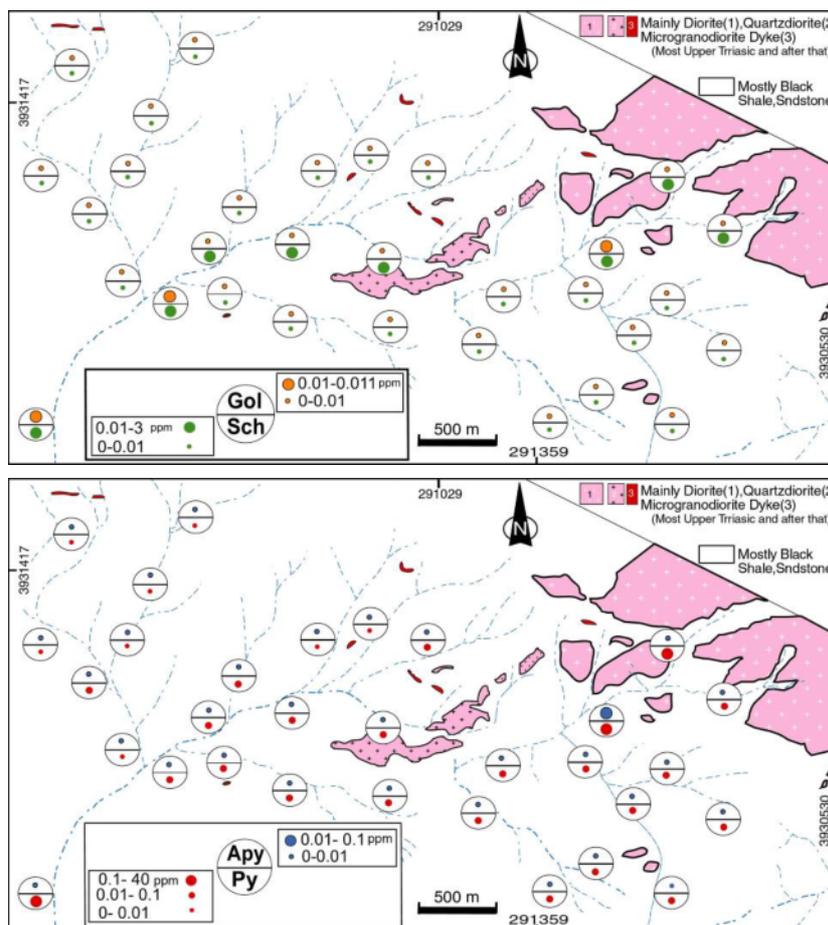
مقادیر بیشتر از ۰/۵) و معنی داری با عناصر Ti, Fe, Co, Bi, Cu, As, W نشان می‌دهد. بیشترین همبستگی طلا با عناصر آرسنیک، بیسموت و تنگستن به‌عنوان همیافت ذاتی طلا، درخور توجه است. مس در نمونه‌های رسوب آبراهه‌ای همبستگی معتبری را با عناصر Sr, W, Au, Fe, Ti, Co, Bi نشان داده است. بالاترین همبستگی مس با بیسموت (۰/۹۰۷) و همبستگی این عنصر با طلا قابل ملاحظه است. بیشترین همبستگی آرسنیک در نمونه‌های رسوب آبراهه‌ای، با طلا است (۰/۸۷۶)، همبستگی آرسنیک با عناصر Sr, Ti, Fe, Co, Bi, Cu در رده‌های بعدی قرار می‌گیرند. حداکثر مقدار همبستگی Pb با عنصر آنتیموان و بیشترین همبستگی منفی را عنصر سرب با استرانسیوم دارند. Zn نیز همبستگی‌های چشمگیری با کبالت و سرب دارد. تنگستن در نمونه‌های رسوب آبراهه‌ای همبستگی مثبت و معنی داری با عناصر Ti, Cu, Bi, Au, Fe نشان داده و بیشترین همبستگی تنگستن با آهن (۰/۶۹۶) است. همبستگی W با Au در رده‌ی بعدی و در حد ۰/۶۵ است.

از جمله طلا، شلیت و آرسنوپیریت، پیریت در دامنه غلظت‌های متفاوت در شکل ۴ نشان داده شد.

ژئوشیمی رسوب‌های رودخانه‌ای

پی‌جویی‌های ژئوشیمیایی در منطقه تاریک دره با عنایت به نتایج نمونه‌های کانی‌های سنگین و در محدوده‌های امید بخش و پیرامون توده‌های نفوذی و سنگ‌های میزبان آن‌ها و با برداشت ۱۶ نمونه رسوب رودخانه‌ای انجام شده است (شکل ۳). تجزیه‌های شیمیایی نمونه‌های رسوب رودخانه‌ای و با لحاظ نمودن ۲ نمونه‌ی تکراری، برای طلا به روش عیارسنجی آذری (Fire Assay) و برای ۴۳ عنصر دیگر انحلال در HF/Multi Acid (ICP-MS و ICP-OES) در آزمایشگاه Amdel استرالیا انجام شد.

نتایج ژئوشیمی رسوب‌های رودخانه‌ای (پس از جایگزینی داده‌های سنسورد و پردازش‌های زمین آماری) حاکی از وجود پتانسیل مناسب عنصر طلا و حضور عناصر Cu, Bi, Co, Zn, W, Sn, As, Sb, Co, Fe به ویژه در آبراهه‌های منتهی به توده‌های نفوذی است. بر این اساس طلا همبستگی مثبت (با



شکل ۴ نقشه‌ی پراکنده‌گی کانی‌های سنگین، طلا-شلیت و آرسنوپیریت-پیریت در دامنه غلظت‌های متفاوت.

زمین‌شیمی خاک

به منظور ارزیابی و شناسایی هاله‌های پراکندگی دومین عناصر و شناسایی بی‌هنجاری‌های وابسته به کانی‌سازی [۱۵]، تعداد ۲۴۶ نمونه خاک برجا (شکل ۳) در شبکه‌های منظم ۱۷۵ متر در ۷۵ متر و در منطقه‌ای به وسعت حدود ۴ کیلومتر مربع و پس از انتخاب بهینه‌ترین اندازه (۸۰ مش) از افق B خاک [۱۶] برداشت شدند، نمونه‌ها پیش از ارسال به استرالیا (آزمایشگاه Amdel)، مرحله‌ی آماده‌سازی (آسیاب تا اندازه ۲۰۰ مش) را در ایران پشت سر گذارده‌اند. آنالیز ژئوشیمیایی خاک برای ۲۲ عنصر مختلف صورت گرفت که عنصر طلا با روش عیارسنجی آذری، عناصر As, Cr, Mn, Mo, Ni, Pb, Sr, Zn, Ba, Be, Ti, Fe به روش IC3E و عناصر Hg, Ag, B, Bi, Co, Cu, Sb, Sn, W به روش IC3M آنالیز شدند، این روش‌ها در مجموعه‌ی ICP-MS و ICP-OES قرار دارند. حد تشخیص، حساسیت دستگاهی و نوع آنالیز عناصر در جدول ۱ آورده شده‌اند.

محاسبات دقت آنالیزها و کنترل خطای نسبی دستگاهی نیز و بر اساس نمونه‌های تکراری (۲ درصد کل نمونه‌ها) و از رابطه‌ی $R.A.E = 2/n \sum |X_1 - X_2| / (X_1 + X_2) \times 100$ ارزیابی شدند [۱۷]. در این فرمول (RAE) خطای نسبی دستگاهی، n تعداد نمونه‌ها و X_1 و X_2 مقادیر نمونه‌های اصلی و تکراری را نشان

می‌دهند. بر این اساس کمترین خطا به عناصر Pb, Ti, Hg, Zn, Sr, Ba وابسته‌اند و با خطای کمتر یا مساوی ۱۰٪ و بیشترین خطا (حد خطای مجاز ۲۰٪) وابسته به عناصر Cr, Ag و مقادیر خطای عناصر Au, Sn, Mo نیز مشابه هم هستند (شکل ۵).

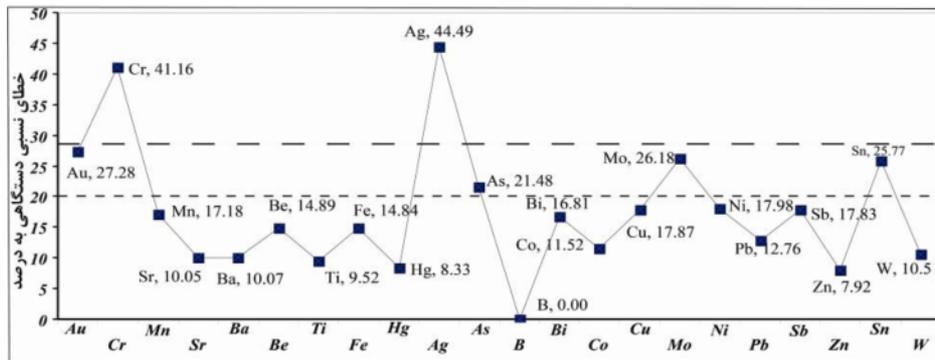
پردازش یافته‌ها و محاسبه ضرایب همبستگی عناصر

پس از تجزیه‌ی شیمیایی نمونه‌ها و برای شناسایی بی‌هنجاری‌های و بررسی اعتبار آن‌ها، آن دسته از عناصری که تمرکز بیشتری یا کمتری از حد تشخیص دستگاهی داشته‌اند (داده‌های سنسورد) با مقادیر عددی مطلوب و به روش نصف حد تشخیص [۱۷]، جایگزین شدند. عناصر حاوی داده‌های سنسورد، درصد آن‌ها و مقادیر جایگزین شده در جدول ۲ نشان داده شده‌است. داده‌پردازی تک متغیره و چند متغیره، با تعیین پارامترهای آماری جامعه‌ی نمونه برداری (داده‌های خام و لگاریتمی) از جمله میانگین، میانه، پراش (واریانس)، انحراف-معیار و ضریب تغییرات انجام شده است (جدول ۳). در گستره-ی پی‌جویی تاریک‌دره، ضریب تغییرات (حاصل تقسیم انحراف معیار به میانگین) عناصر سرب، طلا، جیوه، تنگستن، آرسنیک، بیسموت، مس و نقره بیش از عناصر دیگر بوده و از این میان، عناصر طلا، آرسنیک و مس با توجه به داده‌های خام از اولویت بیشتری برخوردارند.

جدول ۱ روش و حد حساسیت آنالیزها (ICP) برای عناصر مختلف

عنصر	روش	حد تشخیص*
Au	FA3	۱
As	IC3E	۰٫۵
Cr, Mn, Ni	IC3E	۲
Mo, Sr	IC3E	۰٫۱
Pb, Zn, Ba, Be	IC3E	۰٫۲
Ti	IC3E	۱۰
Fe	IC3E	۱۰۰
Hg, B	IC3M	۰٫۰۵
Ag	IC3M	۰٫۰۱
Bi, Sb, W	IC3M	۰٫۱
Co, Cu, Sn	IC3M	۰٫۲

* برای Au بر حسب ppb و دیگر عناصر بر حسب ppm است.



شکل ۵ نمودار خطی، مقدار خطای نسبی آنالیز نمونه‌های خاک را برای تعدادی از عناصر نشان می‌دهد.

جدول ۲ داده‌های سنسورد (Censored) و مقادیر متناظر و جایگزین شده در نمونه‌های رسوب رودخانه‌ای و خاک.

محیط نمونه برداری	پارامتر	Au*	Hg	Ag	B
خاک	تعداد نمونه‌های سنسورد	۱۴	۲۲۷	۲۶	۲۴۶
	درصد داده‌های سنسورد	۵,۶۹	۹۲,۲۸	۱۰,۵۶	۱۰۰
رسوب رودخانه‌ای	تعداد نمونه‌های سنسورد	۳	۳۰	۲۷	۳۲
	درصد داده‌های سنسورد	۹,۳۸	۹۳,۷۵	۸۴,۳۸	۱۰۰
حد تشخیص دستگاه		۱	۰,۰۵	۰,۰۱	۰,۵
مقادیر جایگزین شده		۰,۵	۰,۰۲۵	۰,۰۰۵	۰,۲۵

*مقادیر Au بر حسب ppb و دیگر عناصر بر حسب ppm است.

جدول ۳ پارامترهای آماری عناصر انتخابی ۲۴۶ نمونه خاک در گستره‌ی تاریک‌دره (داده‌های خام).

عنصر*	میانگین	میانه	انحراف معیار	کمینه	بیشینه	پراش**	چولگی	ضریب تغییرات*** %
Au	۱۲	۳	۲۹	۰,۵	۲۲۰	۸۲۸	۵	۲۲۲
As	۸۵	۳۹	۱۳۵	۱۰	۱۱۶۰	۱۸۲۴۸	۴,۶	۱۵۸
Cu	۸۷	۵۳	۱۱۵	۱۳,۵	۹۶۲	۱۳۳۱۰	۵,۵	۱۳۳
Mo	۱	۱	۰,۷	۰,۲	۸۶	۰,۴۹	۵,۱۵	۵۲
Bi	۱	۰,۶	۲	۰,۱	۱۵,۷	۲	۵	۱۴۶
Sb	۲	۲	۰,۶	۰,۵	۴,۴	۰,۳۶	۱,۲۵	۳۴
Pb	۳۲	۲۴	۸۴	۷,۳	۱۳۱۰	۶۹۷۳	۱۴,۸	۲۶۰
Sn	۳	۲,۹	۰,۶۹	۱,۴	۷,۳	۰,۴۷	۱,۷۹	۲۳
Zn	۱۱۴	۹۹	۸۷	۳۷,۲	۳۱۲۱۰	۷۶۲۷	۹	۷۷
Co	۲۹	۲۶	۱۳	۹	۹۴	۱۷۲	۲,۱۷	۴۵
Cr	۷۵	۷۵,۵	۲۶	۱۲	۱۸۶	۶۷۰	۰,۹	۳۴
W	۵	۴	۹	۱,۴	۱۳۴	۷۴	۱۴	۱۶۴
Ag	۰,۱	۰,۱	۰,۱	۰	۰,۶	۰	۴,۵	۱۰۰
Mn	۱۱۲۷	۱۰۴۵	۴۱۹	۳۷۶	۲۶۹۰	۱۷۵۲۱۰	۱	۳۷
Ti	۴۶۵۷	۴۴۴۵	۱۳۵۰	۱۹۳۰	۱۵۳۰۰	۱۸۲۱۶۲۷	۳	۲۹
Fe	۵۳۳۸۳	۵۲۰۰۰	۱۲۸۹۹	۶۲۷۰	۹۸۳۰۰	۱۶۶۳۸۰۴۶۶	۰,۵	۲۴
Ba	۴۸۰	۴۸۹	۹۹	۲۲۶	۱۱۱۰	۹۸۹۳	۱,۱	۲۱
Sr	۲۰۷	۱۵۹	۱۶۵	۷۰	۱۴۹۰	۲۷۱۹۳,۶	۴,۱	۸۰

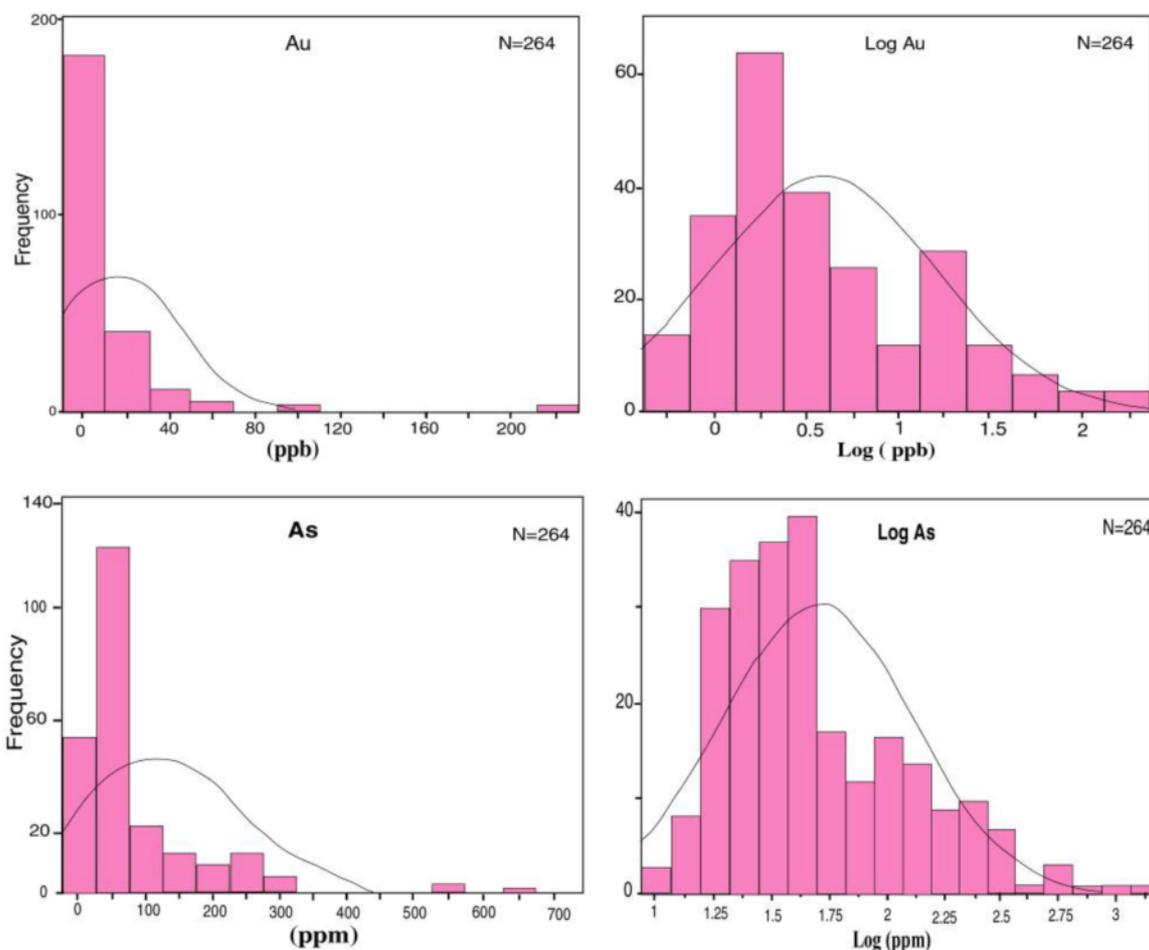
*مقادیر Au بر حسب ppb و دیگر عناصر بر حسب ppm است.

** Variance
*** Coefficient of Variation

طرق مختلف امکانپذیر است. انتخاب روش بهینه‌ی محاسباتی که وابستگی زیادی به نوع تابع توزیع نداشته باشد، بسیار اهمیت دارد. در این پژوهش دامنه‌ی همیافتی عناصر بر مبنای محاسبه‌ی ضریب همبستگی Spearman (که وابستگی محاسبات به نوع تابع توزیع کم است) صورت گرفته‌است. در محاسبه حد اعتبار، بهنجار کردن داده‌ها صورت نگرفته است و مبنای تعداد نمونه‌ی مورد سنجش بوده و حد اعتبار نیز محدود به مقداری ثابت و تعریف شده (± 0.5) نبوده است [۱۷]. نتایج به‌دست آمده از همبستگی‌های مثبت و قابل توجهی طلا در نمونه‌های خاک با عناصر As, Cu, Bi, Fe و Co نشان دارد. چگونگی همبستگی این عناصر در آنالیز ژئوشیمی رسوب‌های آبراه‌ای در سطوح اعتماد مختلف، نیز ارزیابی شده است که بیشترین همبستگی مثبت میان زوج عناصر Cu-As, W-Cu, Pb-Zn است (جدول ۴).

نمایش نموداری داده‌های خام و لگاریتمی نمونه‌های ژئوشیمیایی خاک بر مبنای رده‌های از پیش تعریف‌شده (نمودارهای ستونی)، نوع تابع توزیع، وجود یا عدم چولگی و میزان تقریبی آن تعیین می‌نماید. آنچه که از بررسی نمودارهای ستونی جوامع خام و لگاریتمی نمونه‌های ژئوشیمیایی خاک به‌دست آمدند، حاکی از این است که درصد نسبتاً بالایی از داده‌های عناصر جیوه، بور و نقره سنسورد است و تابع توزیع جوامع داده‌های خام عناصر Cu, Mo, Pb, Sn, و Bi, Co, Ti, Hg, Au, Sr, Zn, W, Ba, As چولگی مثبت داشته، پس از تبدیل، به جامعه لگاریتمی، تا حدودی به تابع بهنجار نزدیک شده‌اند (شکل ۶). همچنین جوامع عناصر Ni, Be و Fe در حالت خام به حالت بهنجار نزدیک‌ترند، از این رو انتظار مقادیر نابهنجار از آن‌ها ضعیف است.

محاسبه‌ی ضریب همبستگی عناصر و بررسی اعتبار آن‌ها به



شکل ۶ نمودار ستونی داده‌های خام و لگاریتمی عناصر انتخابی Au, As در نمونه‌های خاک تاریک‌دوره.

جدول ۴ شدت همبستگی (اسپیرمن) بین عناصر مختلف در بررسی‌های ژئوشیمی رسوب‌های رودخانه‌ای (St.s) و نمونه‌های خاک (Soil) را نشان می‌دهد، همبستگی‌های خیلی شدید، می‌تواند ناشی از وجود قرابت‌های کانی‌سازی باشد.

عنصر	محیط	میزان همبستگی عناصر		
		خیلی قوی (۰٫۷۱-۱٫۰)	قوی (۰٫۵۱-۰٫۷)	متوسط (۰٫۱-۰٫۵)
Au	Soil	As, Cu	Fe, Bi, Co	Mn, Sr, Ti, Hg, Ag, Sb, W
	St.s	As, Bi, Cu, Co	Ti, Fe, W	Sr, Sb, Zn, Sn
As	Soil	Au, Bi, Cu	Mn, Ti, Fe, Co, W	Sr, Ba, Hg, Mo, Sb, Zn, Sn
	St.s	Au, Bi, Cu	Sr, Ti, Fe, Co	Sb, Zn, Sn, W
Cu	Soil	Au, Fe, As, Bi, Co	W	Mn, Ba, Ti, Hg, Mo, Sr, Sb, Zn, Sn
	St.s	Au, Ti, Fe, As, Bi, Co	Sr, W	Mo, Sb, Zn, Sn
Bi	Soil	Cu, As	Au, Fe, Co, Sb, W	Mn, Be, Ti, Ag, Mo, Ni, Pb, Zn, Sn
	St.s	Au, Ti, Fe, As, Co, Cu	Sr, W	Mo, Zn, Sn
Mo	Soil	-	Sb	Cr, Ba, Be, Ti, Fe, Hg, As, Bi, Co, Cu, Ni, Pb, Zn, Sn, W
	St.s	-	-	Co, Ti, Fe, Bi, Cu, Ni, Pb, Zn, Sb, W
Pb	Soil	Zn	Be, Ni, Sb	Cr, Ba, Ag, Bi, Co, Mo, Sn, W
	St.s	Sb	Zn, Ni	Co, Mo, Sn
Zn	Soil	Pb	Ni, Sb	Cr, Mn, Ba, Be, Ti, Fe, Hg, As, Bi, Co, Cu, Mo, Sn, W
	St.s	Co, Sb	Ni, Pb	Au, Co, Ti, Fe, As, Bi, Cu, Mo, Sn, W
W	Soil	-	Fe, As, Bi, Cu, Sn	Au, Mn, Ba, Be, Ti, Hg, Mo, Co, Pb, Sb, Zn
	St.s	-	Au, Ti, Fe, Bi, Co, Cu	Sr, As, Mo, Zn, Sn
Sn	Soil	-	Sb, W	Cr, Ba, Be, Fe, Hg, As, Bi, Co, Cu, Mo, Ni, Pb, Zn
	St.s	-	-	Au, Ti, Fe, As, Bi, Co, Cu, Ni, Pb, Zn, Sb, W
Sb	Soil	-	Bi, Co, Mo, Pb, Zn, Sn	Au, Cr, Mn, Ba, Be, Ti, Fe, Hg, Ag, As, Cu, Ni, W
	St.s	Zn, Pb	-	Au, Cr, As, Co, Cu, Ni, Mo, Sn
Co	Soil	Cu	Au, Mn, Ti, Fe, As, Bi, Sb	Ba, Hg, Mo, Ni, Pb, Zn, Sn, W
	St.s	Au, Co, Ti, Fe, Bi, Cu, Zn	As, W	Sr, Mo, Ni, Sb, Sn
Fe	Soil	Cu	Au, Mn, Ti, As, Bi, Co, W	Sr, Ba, Mo, Sb, Zn, Sn
	St.s	Ti, Bi, Co, Cu	Au, Sr, As, W	Mo, Zn, Sn

سرشتی‌های ژئوشیمیایی و معرفی معیار جمعی

یکی از راه‌های بررسی مقادیر ناهنجار و امکان همسویی آن‌ها با یکدیگر، استفاده از سرشتی‌های ژئوشیمیایی^۱ است. در مورد ضرایب همبستگی، بدیهی است، که تمامی داده‌ها مورد بررسی قرار می‌گیرند و ممکن است، این ضرایب بیانگر واقعیت همبستگی یا عدم همبستگی عناصر نباشند. اما در محاسبه مشخصه‌های ژئوشیمیایی همراهی و همسویی عناصر تنها در ۱۰٪ بالای جامعه آن‌ها بررسی می‌شود و این معیار با توجه به گستره‌ی توزیع، می‌تواند از اعتبار بیشتری برخوردار باشد [۱۷]. بنابراین داده‌ها برای تمامی عناصر مرتب^۲ و ۱۰٪ بالای آن‌ها

(در این پروژه ۲۵ نمونه) مشخص شده است. سپس هر کدام از عناصر یکبار به عنوان عنصر مینا، قرار گرفته و داده‌های آن مرتب می‌شوند. چنانچه همراهی عناصر دیگر در نیمی از نمونه‌ها (حدود ۱۲ نمونه) با این عنصر مینا، محقق شود، می‌توان آن‌ها را به عنوان همبسته در مقادیر پرعیار معرفی کرد. با توجه به مطالب بالا و بررسی عناصر در محیط خاک، مجموعه زیر به عنوان بهترین سرشتی به دست آمده معرفی می‌شود:
1-Au, As(12, M), Bi(12, M), Co(15, M), Cu(15, M)
M نماد قرار گرفتن مقدار حداکثر آن عنصر و عدد واقع در پیرانتز تعداد نمونه‌های ۱۰٪ بالای آن عنصر را نشان می‌دهد. در رده بندی بالا، عنصر اول مجموعه، به عنوان عنصر مینا در نظر گرفته شده است. ترسیم داده‌های این مجموعه بر اساس جمع

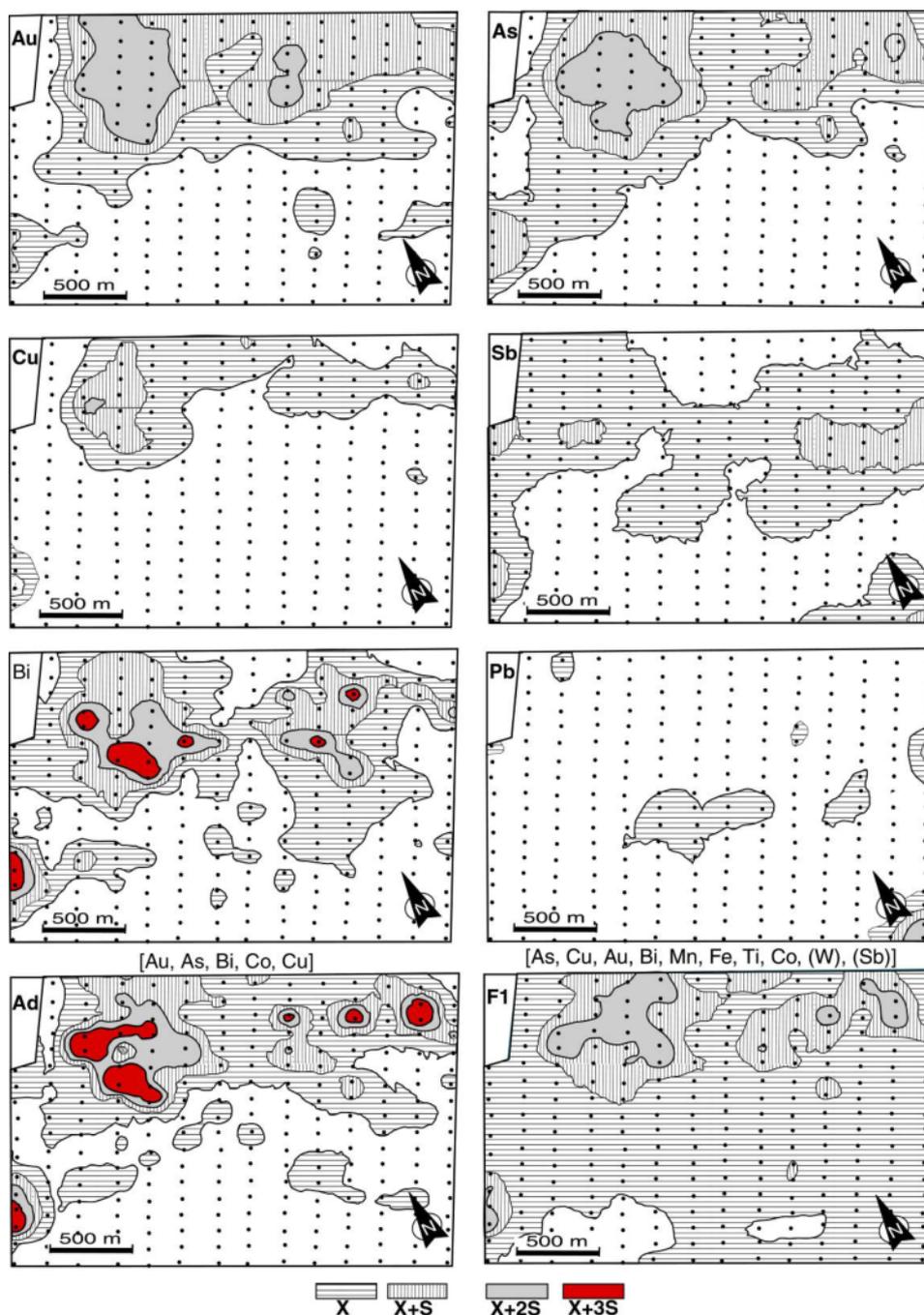
1 - Geochemical Signature
2 - Sort

معیار آن جامعه است. با محاسبه‌ی این فرمول نتایج به صورت جامعه‌ای با میانگین صفر و انحراف معیار واحد به دست خواهد آمد که تمامی آن‌ها هم وزن بوده و قابل جمع کردن با یکدیگرند. بر مبنای مقادیر به دست آمده نقشه‌های توزیع عناصر در خاک‌های گستره‌ی پی‌جویی ترسیم شده‌اند (شکل ۷).

مقادیر Z-Score آنهاست و از جمع این مقادیر که به عنوان معیار جمعی نامگذاری شده، و یافته‌هایی بدست می‌آید که به صورت نقشه نمایش داده می‌شود. لازم به یادآوری است که Z-score نوعی استانداردسازی داده‌هاست که بر اساس فرمول زیر محاسبه می‌شود [۱۷].

$$Z\text{-Score} = (X - \text{Mean}) / SD$$

در این فرمول X عیار هر نمونه، Mean میانگین و SD انحراف



شکل ۷. هاله‌های پراکندگی دومین عنصر طلا و دیگر عناصر وابسته و ردياب، در خاک‌های برجای گستره‌ی پی‌جویی تاریک‌دره.

تحلیل عاملی یافته‌های زمین‌شیمی

مرحله بررسی آمار چند متغییره و ارزیابی همبستگی‌های ۲۲ عنصر که از نتایج ۲۴۶ نمونه خاک به دست آمده‌اند، در قالب محاسبات تحلیل عاملی^۶ صورت گرفته‌است [۱۷]. نخست عنصر بور (مقادیر سنسورد) از جریان داده پردازی حذف و نمونه‌های خارج از ردیف^۴ نیز براساس حد بین چارکی و به استناد فرمول $Outlier = 1.5 \sim 3 (75^{th} - 25^{th})$ به‌عنوان نمونه‌های فرین^۵ شناسایی و با مقادیر متناسب جایگزین شده‌اند. مقادیر عناصر Ni، Fe، و Be بصورت خام و عناصر باقیمانده بصورت لگاریتمی وارد محیط نرم افزار SPSS شدند و تعداد ۵ عامل در جریان این مرحله از محاسبات به شرح زیر حاصل شده‌اند:

عامل اول: عناصر As, Cu, Au, Bi, Mn, Ti, Co, Fe, (W, Sb)

عامل دوم: عناصر Pb, Sb, Be, Mo, Cr, Sr, Ni, Sb, (Zn)

عامل سوم: عناصر Hg, W, (Sn)

عامل چهارم: عناصر Ba, Zn, (Pb)

عامل پنجم: عنصر Ag, (Ti, Mo)

بیشترین تاثیر در عامل اول (F1) به عناصر آرسنیک، مس و کمترین تاثیر به تیتان مربوطند. این عامل به‌عنوان فاکتور کانی‌سازی طلا محسوب شده است و دو عنصر W, Sb به ترتیب به ارزش این فاکتور افزوده و همراهی این مجموعه با یکدیگر وجود کانی‌سازی طلا را در منطقه تقویت می‌کند. عامل چهارم با عناصر Ba, Zn, (Pb) می‌تواند معرف پارامترهای لیتولوژیکی و یا پارامترهای کانی‌سازی سرب و روی (رگه‌های گالن‌دار) با گانگ باریت باشد.

شناسایی هاله‌های پراکندگی دومین عناصر

از مهم‌ترین هدف‌های این پژوهش شناسایی هاله‌های پراکندگی عناصر و الگوی توزیع و تمرکز عناصر به منظور معرفی نقاط امیدبخش و یا به عبارتی بی‌هنجاری است [۱۸]. روش‌های مختلفی برای جدایش بی‌هنجاری و تعیین مقادیر شاخص‌های پراکندگی به کار برده می‌شود، در این پژوهش از برازش واریوگرام (تغییرنگار) داده‌های لگاریتمی و استفاده از

نتایج آن‌ها به روش کریجینگ^۶ استفاده شده است [۱۷].

در مرحله‌ی برازش، چند عامل به‌عنوان متغییرهای محاسبه‌ی تغییر نگار مورد استفاده قرار گرفته‌اند (جدول ۵). راستا، که تغییرنگار نخست آن را به صورت غیرجهتی در نظر گرفته و در صورت عدم تطابق با مدل بهینه در راستای ۴۵ و ۹۰ درجه ترسیم شدند. تلورانس^۷، با زوایای ۱۵، ۲۰ و ۳۰ درجه، در محاسبات مورد استفاده قرار گرفته است. پهنای گام^۸، از گام‌های ۱۲۰، ۱۵۰، ۱۶۰، ۱۷۰، ۱۷۵ و ۱۸۰ متر در تغییرنگارها استفاده شد. تعداد گام‌ها^۹، مقادیر مورد استفاده در این مرحله ۱۵، ۲۵ و ۳۰ گام بوده است. اثر قطعه‌ای^{۱۰}، به صورت نظری صفر در نظر گرفته شد و محاسبه اثر قطعه‌ای نسبی پس از برازش منحنی مدل با استفاده از فرمول C_1/C_0 محاسبه شد که، در آن، C_0 مقدار سقف، C_1 اثر قطعه‌ای و $C_0 + C_1$ مقدار سقف کل (C) است. که این نسبت در واقع موید این است که چند درصد از تغییرات به وسیله‌ی تغییر نگار پوشش داده شده است. بالا بودن این عدد نشانه‌ی عدم برازش بهینه بوده است. شعاع تاثیر^{۱۱} نمونه‌ها نیز فاصله‌ی بهینه تأثیر دو نمونه مجاور است که در ورای این فاصله نمونه‌ها فاقد تأثیر و یا دارای اثر بسیار کمی بر یکدیگر خواهند بود. با محاسبه مقادیر میانه (X)، انحراف معیار (S)، بی‌هنجاری در بازه‌های $Med + S$ الی $Med + 2S$ (به عنوان حد آستانه بی‌هنجاری) و مقادیر $Med + 2S$ الی $Med + 3S$ (بی‌هنجاری‌های ممکن) و مقادیر بالاتر از $Med + 3S$ به عنوان بی‌هنجاری‌های احتمالی تعیین شده‌اند (جدول ۶) و بر این اساس جداسازی آنومالی صورت گرفت. نقشه بی‌هنجاری‌های عناصر با اعمال مقادیر تخمینی^{۱۲} حاصل از داده‌های لگاریتمی در بازه‌های تعریف شده، به دست آمده، در این قالب نقشه‌های هم مرتبه پراکندگی عناصر طلا و مرتبط و ردیاب از جمله As, Cu, Bi, Sb, Pb در خاک‌های گستره‌ی تاریک‌دره رسم شده است (شکل ۷).

6- Krigging
7- Telorance
8- Lag width
9- Number of Lag
10- Nugget Effect
11- Range
12- Cross Validation

3- Factor Analysis
4- Outlier
5- Extreme

جدول ۵ مشخصه‌های اصلی تغییرنگارهای عناصر انتخابی.

عنصر	جهت ^۱	تلورانس ^۲	طول گامه ^۳	تعداد گامه ^۴ (متر)	اثر قطعه‌ای ^۵	مقدار سقف	مقدار سقف کل	اثر قطعه‌ای نسبی	شعاع تاثیر نمونه‌ها ^۶ (متر)
Au	۰	۳۰	۱۷۵	۳۰	۰٫۰۳	۰٫۰۳	۰٫۰۶	۰٫۵	۳۰۰
As	۰	۹۰	۱۵۰	۳۰	۰٫۰۳	۰٫۰۷	۰٫۱	۰٫۳۳	۳۹۵
Cu	۴۵	۳۰	۱۵۰	۳۰	۰٫۰۲۲۵	۰٫۰۲۸	۰٫۰۵۰۵	۰٫۴۴	۳۰۰
Sb	۰	۹۰	۱۲۰	۱۵	۰٫۰۰۶	۰٫۰۱۲	۰٫۰۱۸	۰٫۳۳	۴۰۰
Pb	۰	۹۰	۱۱۲	۱۵	۰٫۰۱۵	۰٫۰۲۱	۰٫۰۳۶	۰٫۴۱	۲۷۵
Bi	-	-	-	-	-	-	-	-	۵۵۰
Ag	۰	۹۰	۱۶۰	۲۴	۰٫۰۶۹	۰٫۰۷۷	۰٫۱۵۷	۰٫۴۴	۳۷۵
Mo	۹۰	۱۵	۱۸۰	۱۵	۰٫۰۰۵۹	۰٫۰۱۸۳	۰٫۰۲۴۲	۰٫۲۴	۳۵۰
Ad*	۹۰	۳۰	-	-	-	-	-	-	۳۵۰

^۱Direction, ^۲Tolerance, ^۳Lag width, ^۴Number of Lag, ^۵Nugget Effect, ^۶Range

* معیار جمعی

جدول ۶ پارامترهای توزیع داده‌های خام و مقادیر لگاریتمی آنها، حد آستانه و بی‌هنجاری‌های ممکن برای عناصر مختلف در نمونه‌ها خاک منطقه-ی تاریک دره محاسبه شده است

پارامترهای توزیع (خام)	*Au	As	Cu	Pb	Bi	Sb	Ag	W
میانگین	۱۲٫۴۲	۸۵٫۲۶	۸۶٫۶۹	۳۲٫۷	۱٫۰۶	۱٫۷۷	۰٫۰۶	۵٫۲۴
میانه (X)	۳	۳۹٫۴۵	۵۳٫۴۵	۲۳٫۶	۰٫۶	۱٫۷	۰٫۰۵	۴٫۱
بیشینه	۲۲۰	۱۱۶۰	۹۶۲	۱۳۱۰	۱۵٫۷	۴٫۴	۰٫۶۴	۱۳۴
پارامترهای توزیع (لگاریتمی)								
میانگین	۰٫۶۱	۱٫۶۴	۱٫۸	۱٫۳۹	-۰٫۱۴	۰٫۲۲	-۱٫۳۸	۰٫۶۴
انحراف معیار	۰٫۵۸	۰٫۴	۰٫۲۹	۰٫۲۲	۰٫۳۳	۰٫۱۴	۰٫۴۲	۰٫۲۱
ضریب تغییرات	۹۵٫۶۴	۲۳٫۸	۱۵٫۹۲	۱۵٫۹۶	-۲۲۹٫۹	۶۴	-۳۰٫۵	۳۳٫۳
میانه	۰٫۴۸	۱٫۶	۱٫۷۳	۱٫۳۷	-۰٫۲۲	۰٫۲۳	-۱٫۳	۰٫۶۱
آستانه بی‌هنجاری	۱٫۰۶	۲	۲٫۰۲	۱٫۵۹	۰٫۱۱	۰٫۳۷	-۰٫۸۸	۰٫۸۲
بی‌هنجاری ممکن	۱٫۶۴	۲٫۴	۲٫۳۱	۱٫۸۱	۰٫۴۴	۰٫۵۱	-۰٫۴۶	۱٫۰۳

*مقادیر Au بر حسب ppb و دیگر عناصر بر حسب ppm.

برداشت

هاله‌های دومین پراکندگی ژئوشیمیایی از عناصر ارزشمند، ردیاب و وابسته به کانی‌سازی طلا شد. عیار طلا در نمونه‌های خاک منطقه‌ی مورد نظر از کمینه به بیشینه‌ی ۱ تا ۲۲۰ میلی گرم در تن در نوسان است. میانگین و میانه آن به ترتیب ۱۲٫۴۲ و ۳ میلی گرم در تن برآورد شدند و خطای آنالیز آن در حد قابل قبولی است (شکل ۵). این عنصر با عناصر Sb, Ag, Cu و Bi همبستگی نشان می‌دهد. بهترین تغییر نگار طلا به-صورت غیرجهتی و با شعاع تاثیر ۳۰۰ متر با استفاده از داده-

کاوش و بررسی‌های کانی‌های سنگین در هدف پی جویی تاریک‌دره، باعث شناسایی کانی‌های طلا، کالکوپریت، گوتیت، هماتیت، گالن، پیریت، پیریت اکسید، آرسنوپریت، هماتیت، جاروسیت، لیمونیت، مالاکیت، فلوگوپیت، شنلیت، اسپیکولاریت، اسمیت‌زونیت، گارنت و باریت شد. متعاقباً بررسی‌های ژئوشیمیایی پراکندگی عناصر و در نهایت ارزیابی-های زمین‌شیمی نمونه‌های برجای خاک، منجر به شناسایی

حدود ۴۳/۸ کیلومتر مربع و متاثر از ۱۲ نمونه)، شمال خاوری (متاثر از ۶ نمونه بی‌هنجار) و جنوب باختری (پهنای این بی-هنجاری بالغ بر ۳ هکتار و متاثر از ۳ نمونه) مشخص شده است. بیشترین مقادیر بیسموت در نمونه‌های رسوب آبراهه‌ای به مقدار ۸۴/۲ و ۵/۹ گرم در تن است. در واقع برازش جالبی بین نمونه‌های خاک، رسوب آبراهه‌ای در این گستره وجود دارد. این بی‌هنجاری با عناصر طلا، آرسنیک، مس، Ad و F1 نیز همپوشی دارد. بی‌هنجاری‌های عنصر تنگستن به صورت سه گستره در بخش‌های شمالی و شمال-باختری منطقه مشخص شده است. بی‌هنجاری مهم تنگستن در بخش شمال-باختری با بی‌هنجاری‌های طلا، آرسنیک و نقشه‌ی معیار جمعی همپوشی دارد.

بی‌هنجاری‌های متشکل از عناصر As, Cu, Au, Bi, Mn, Ti, Co, Fe, (W, Sb) و معرف تحلیل عاملی اول، در واقع بیشترین همپوشی را با عناصر آرسنیک، طلا و نقشه Ad نشان می‌دهد. بی‌هنجاری شمال-باختری با مساحت تقریبی ۴/۲ هکتار مهم‌ترین بی‌هنجاری فاکتور اول بوده که متاثر از ۱۱ نمونه است. این بی‌هنجاری با عناصر As, Au و بصورت جزئی با Cu همپوشی دارد. بزرگترین بی‌هنجاری‌های معیار جمعی، متشکل از عناصر Au, As, Bi, Co, Cu در شمال باختری این گستره بوده و همپوشی عناصر آرسنیک، بیسموت و تا حدودی طلا، مس و نقشه‌ی تحلیل عاملی با آن، اهمیت این منطقه را افزایش می‌دهد. بی‌هنجاری‌های طلا با عناصر آرسنیک و تا حدودی مس در این گستره که بر توده نفوذی با ترکیب کوارتز-دیوریت-دیوریت همپوشانی دارد، اهمیت این بی‌هنجاری را در ارتباط با کانی‌سازی طلا، وابسته به توده‌های نفوذی را افزون‌تر می‌کند.

قدردانی

نویسندگان از حمایت‌های مالی و مساعدت‌های معاونت محترم اکتشاف و طرح‌های عمرانی سازمان صنایع و معادن خراسان رضوی و معاونت تحصیلات تکمیلی دانشگاه فردوسی مشهد برخوردار بوده‌اند.

مراجع

[1] Williams G. j., - "Note on the mineralization in Cheshmegoool area, khorasan", Geo, Sur of Iran, (1965) 3 p.

های لگاریتمی محاسبه شدند. بی‌هنجاری‌های مهم عنصر طلا در سه بخش باختری، مرکزی و شمال-خاوری گستره‌ی مورد نظر متمرکز شده‌اند (شکل ۷). مقدار عنصر طلا در ۳ نمونه رسوب آبراهه‌ای که سرشاخه‌های آن‌ها به بی‌هنجاری بخش باختری (بالغ بر ۲۳/۴ هکتار) منتهی می‌شود به ترتیب عیاری برابر ۱۵۵، ۲۸۹ و ۴۸ را نشان داده‌اند و هاله‌ی دومین پراکنده‌ی این عنصر متاثر از ۱۷ نمونه خاک بوده است (عیار طلا در آنها از ۲۱۸-۲۲۰ ppb). این بی‌هنجاری از دیدگاه زمین‌شناسی بیشتر در واحد دیوریتی قرار گرفته است. این گستره با بی‌هنجاری‌های عناصر آرسنیک، مس، بیسموت و نقشه‌های معیار جمعی (Ad) و تحلیل عاملی (F1)، همپوشی دارد. این بی‌هنجاری به سمت شمال بسته نشده است و احتمال یافتن مقادیر بی‌هنجار در بخش شمالی آن دور از انتظار نیست. در نقشه‌ی بی‌هنجاری‌های آرسنیک سه گستره در بخش‌های شمال باختری تا جنوب باختری با مقادیر نزدیک به حد آستانه بی‌هنجاری قابل مشاهده‌اند، بی‌هنجاری بخش شمال-باختری (۲۵/۶ هکتار) منطقه‌ی متاثر از ۱۵ نمونه است، برونده‌های سنگی این منطقه بیشتر واحد دیوریتی است. تعداد چهار نمونه رسوب آبراهه‌ای برداشت شده از فرودست این بی‌هنجاری نیز مقادیر قابل توجهی از آرسنیک را نشان داده‌اند (از ۲۲۷ تا ۵۳۱۰ گرم در تن). این منطقه با بی‌هنجاری عناصر طلا، مس، بیسموت، Ad و F1 همپوشی دارد. ناهنجاری ممکن عنصر مس، در بخش شمال-باختری این گستره است. با توجه به همپوشی این منطقه با بی‌هنجاری‌های طلا و آرسنیک، اهمیت این گستره قابل ملاحظه است. با توجه به پایین بودن حد عیاری آنتیموان در نمونه‌ها، بی‌هنجاری ممکن از این عنصر در این گستره شناسایی نشد، و تنها بی‌هنجاری سرب در بازه‌ی $Med + 2S >$ ، متاثر از یک نمونه با عیار ۱۳۱۰ ppm است. این نمونه به‌عنوان یک نمونه فوق‌العاده در مقادیر سرب محسوب می‌شود و در ردیف بعدی نمونه‌های با عیار ppm ۱۸۶ سرب واقع شده است. سرب در نمونه‌های رسوب آبراهه‌ای نیز عیار قابل توجهی بروز نداده است (از ۱۳/۸ تا ۳۹/۲ گرم در تن).

بیسموت در نمونه‌های خاک، عیار قابل توجهی نداشت، ولی بخاطر همراهی نمونه‌های حاوی بیشترین مقدار Bi با نمونه‌های با عیار بالای طلا، جیوه، تنگستن، آرسنیک و مس، سه منطقه با بی‌هنجاری احتمالی در بخش‌های شمال باختری (در

- [۲] بهروزی ا. و همکاران، "نقشه زمین‌شناسی چهار گوش تربت جام، مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰"، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، (۱۹۹۳).
- [۳] اکرمی م. ع.، "بررسی پترولوژی و ژئوشیمی توده گرانیتوئیدی تربت جام و هاله دگرگونی آن"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد پترولوژی، دانشگاه تهران، (۱۳۷۳) ص ۱۷۵.
- [۴] خاکزاد ا.، کریم‌پور م. ح.، یزدی م.، شفیع‌نیا ح.، "مطالعه کانیهای سنگین و نحوه ارتباط آنها با کانی‌زایی طلا در منطقه تاریک دره (شمال تربت جام)"، مجموعه مقالات دهمین همایش انجمن بلورشناسی و کانی‌شناسی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، (۱۳۸۱) ص ۱۱۶-۱۱۷.
- [۵] سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، "اکتشافات ژئوشیمیایی سیستماتیک در ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ تربت جام"، (۱۳۸۱).
- [۶] علوی نائینی م.، با کمک موسوی، "نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ تربت جام"، انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، (۱۳۸۵).
- [۷] مهندسین مشاور زرناب اکتشاف، "گزارش اکتشاف نیمه تفصیلی طلا و تنگستن تاریک دره (شمال تربت جام)"، سازمان صنایع و معادن استان خراسان رضوی (۱۳۸۳) ص ۱۶۵.
- [8] Boulin J., "Structures in Southwest Asia and evolution of the eastern Tethys", Tectonophysics 196, Issues 3-4, (1991) 211-268.
- [۹] آقانباتی ع.، "زمین‌شناسی ایران"، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، (۱۳۸۳) ص ۶۰۶.
- [10] Rutner A., "The Triassic of Agh darband", Scientific Quarterly Journal Geosciences 27-28 (1991) 87-95.
- [۱۱] افشار حرب ع.، "زمین‌شناسی کپه داغ"، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، (۱۳۷۳) ص ۲۷۵.
- [12] Solovov A.P., "Geochemical prospecting for mineral deposits", mir publishers Moscow (1987) 284.
- [13] Mohammadzadeh M.J., 1994-"Geochemical dispersion in mineralized and unmineralized soils near Malanjkhand copper deposit, India", Scientific Quarterly Journal Geosciences 10 (1994) 72-79.
- [۱۴] شفیع‌نیا ح.، "مطالعات ژئوشیمی و زمین‌شناسی اقتصادی اندیس طلای تاریک دره، شمال تربت جام"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، زمین‌شناسی اقتصادی، دانشگاه شهید بهشتی تهران، (۱۳۸۱) ص .
- [۱۵] پرند س.، "روشهای اکتشافات ژئوشیمیایی ذخایر معدنی (ترجمه کتاب Beus and Grigorian, 1977)"، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، (۱۳۷۵) ص ۲۶۲.
- [16] Rose A., Hawkes H., Webb J., "Geochemistry in Mineral Exploration", 2d ed., Academic press, (1979)
- [۱۷] حسنی پاک ع. ا.، شرف‌الدین م.، "تحلیل داده‌های اکتشافی"، انتشارات دانشگاه تهران، (۱۳۸۰) ص ۹۸۷.
- [۱۸] حسنی پاک ع. ا.، "اصول اکتشافات ژئوشیمیایی"، انتشارات دانشگاه تهران، (۱۳۷۰) ص ۶۰۱.