



بررسی توزیع ژئوشیمیایی عناصر طلا، آرسنیک و آنتیموان در رسوبات آبراهه‌ای چهارگوش اهر با استفاده از داده‌های آماری، آذربایجان شرقی، شمال غرب ایران

فاطمه جهانگیریار^{۱*}، محسن مؤذن^۲، وارطان سیمونز^۳، مرتضی گل‌رسان^۴

۱- کارشناسی ارشد ژئوشیمی، گروه علوم زمین، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

۲- استادیار پتروژئولوژی، گروه علوم زمین، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

۳- استادیار زمین‌شناسی اقتصادی، مرکز تحقیقات علوم پایه دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

۴- کارشناسی ارشد ژئوشیمی، گروه علوم زمین، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

* عهده‌دار مکاتبات: fjahangiryar@yahoo.com

دریافت مقاله: ۹۴/۲/۱۴، پذیرش مقاله: ۹۴/۵/۳

چکیده

منطقه مورد مطالعه در شمال باختری ایران واقع است. با توجه به تقسیمات واحدهای ساختمانی- رسوبی ایران، این ناحیه بخشی از زون البرز- آذربایجان است. از نظر زمین‌شناسی، قدیمی‌ترین واحدهای محدوده را سنگ‌های آتشفشانی و رسوبی کرتاسه بالایی و واحدهای آتشفشانی ائوسن تشکیل می‌دهند. این واحدها توسط توده‌های نفوذی الیگوسن قطع شده‌اند و دگرسانی‌های گرمایی و کانه‌زایی مس، طلا و عناصر همراه در منطقه رخ داده است. هدف از این مقاله، معرفی زون‌های بی‌هنجاری طلا، آرسنیک و آنتیموان با استفاده از روش مطالعه هاله‌های پراکندگی ثانویه (نمونه‌های ژئوشیمیایی رسوب آبراهه‌ای) در منطقه اهر است. از این رو، با در نظر گرفتن عواملی مانند چینه‌شناسی، سنگ‌شناسی، زمین‌ساخت و مرکز ثقل توپولوژیکی آبراهه‌ها، ۶۲۰ نمونه از رسوبات آبراهه‌ای برداشت و پس از آماده‌سازی، عنصر طلا به روش Fire assay و عناصر آرسنیک و آنتیموان به روش ICP-OES تجزیه شیمیایی شدند. بر اساس یافته‌های این تحقیق، طلا دارای ۴ زون بی‌هنجاری در شرق شهرستان اهر، بخش شمال شرقی برکه اهر با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰، در مجاورت روستاهای سوناجیل و اینجه و در نهایت در جنوب باختر برکه اهر است. همچنین زون‌های بی‌هنجار طلا، انطباق خوبی با زون‌های بی‌هنجار آرسنیک و آنتیموان نشان می‌دهند. با تلفیق داده‌های مربوط به سه عنصر طلا، آنتیموان و آرسنیک در محدوده مورد مطالعه، مشخص شد که این بی‌هنجاری‌ها در ارتباط با توده‌های نفوذی گرانیت قلیایی تا هورنبلند- بیوتیت گرانیت الیگوسن و زون‌های دگرسان حاصل از سیالات گرمایی مربوطه هستند.

واژه‌های کلیدی: ژئوشیمی رسوبات آبراهه‌ای، اهر، بی‌هنجاری، طلا، آرسنیک، آنتیموان

۱- مقدمه

در مودال کانی‌ها و آلیش بوده است. از دیگر مطالعات انجام‌شده بر روی آثار و شواهد معدنی منطقه اهر- جلقا که می‌توان به مطالعه آثار مس در جنوب غرب اینچه و کانسار مس پورفیری سوناجیل (حسین‌زاده، ۱۳۸۷) و نیاز مطالعه زمین‌شیمیایی و پتروشیمیایی سنگ‌های پلوتونیک و ولکانیک شرق مهران (اشرفی، ۱۳۸۳)، مطالعه زمین‌شناسی اقتصادی منطقه چیچکلی (شهرستان ورزقان) (غنی‌زاده، ۱۳۸۹)، کانسار مس مولیبدن- پورفیری سونگون (برای مثال Calagari, 1997, 2003, 2004a, 2004b)، آثار کانی‌سازی مس در گاودل (زریسفی، ۱۳۹۱)، اشاره کرد. در این مقاله سعی شده است با استفاده از داده‌های ژئوشیمیایی رسوب آبراهه‌ای و پردازش آماری داده‌های حاصل از آن تغییرات غلظت، توزیع و پراکندگی عناصر طلا، آرسنیک و آنتیموان و هاله ژئوشیمیایی آنها در رسوبات آبراهه‌ای برکه ۱:۱۰۰۰۰۰ اهر مورد مطالعه قرار گیرد. افزون بر این، تعیین همبستگی بین این عناصر، شناسایی زون‌های بی‌هنجار مربوط به هر یک از آنها جهت دستیابی به مناطق امیدبخش و تعیین منشأ بی‌هنجاری‌ها از دیگر موارد مطالعه در این پژوهش هستند.

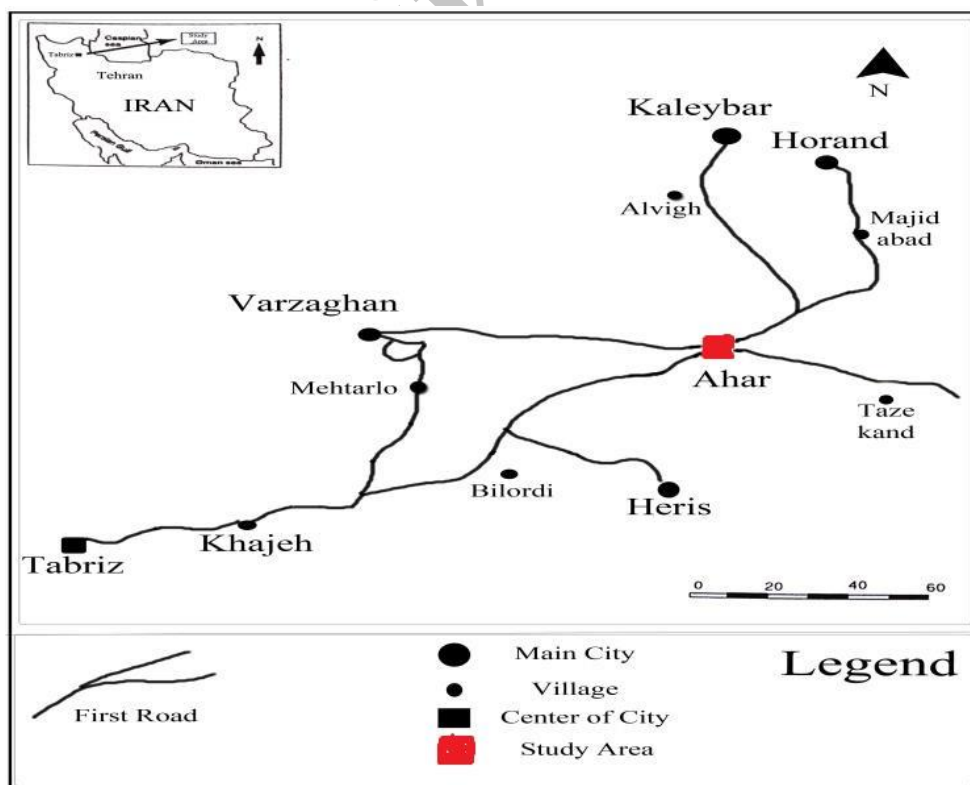
۲- موقعیت جغرافیایی و زمین‌شناسی منطقه

منطقه مورد مطالعه در ۱۱۰ کیلومتری تبریز مرکز استان

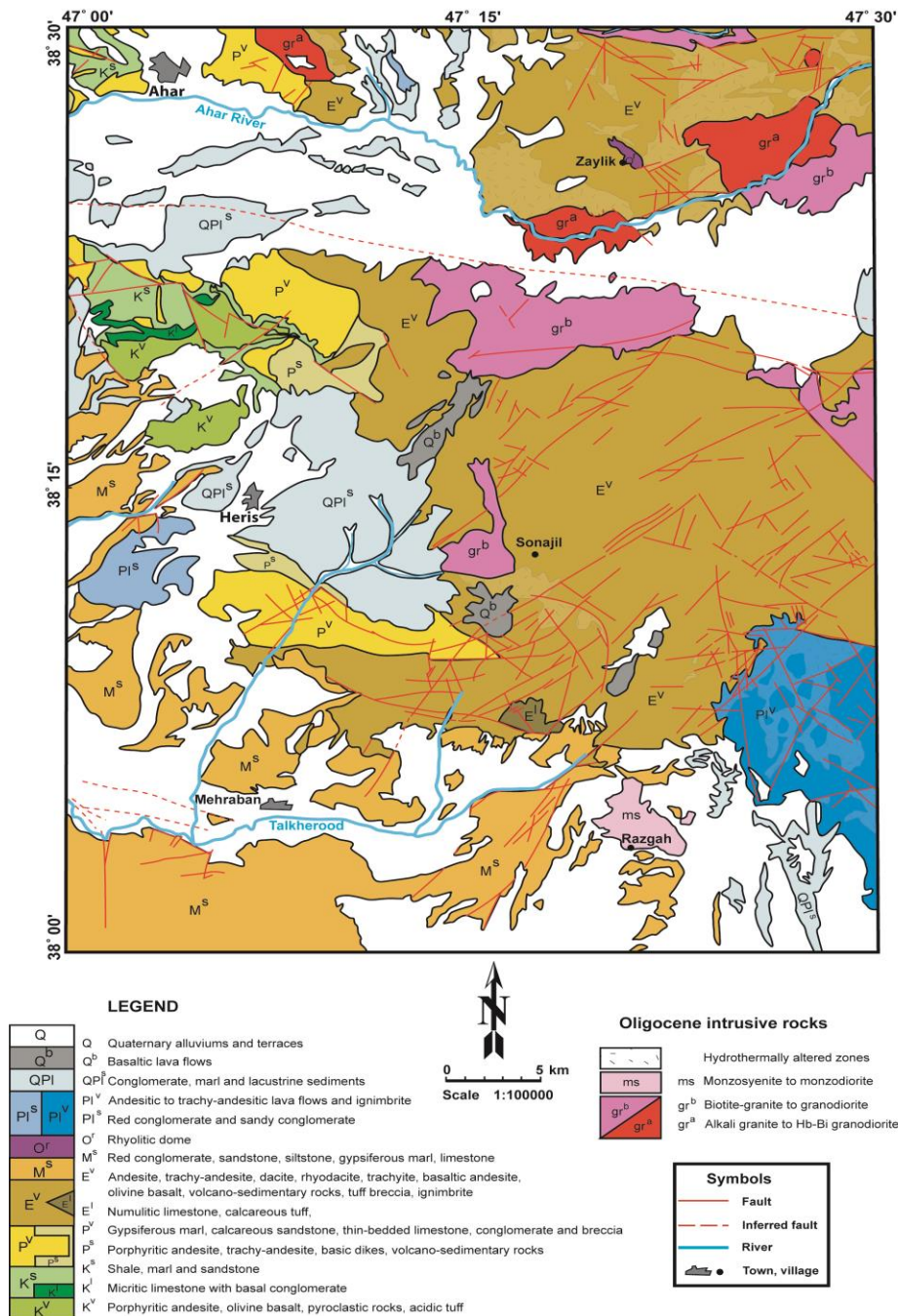
در میان مواد سطحی که از نظر مطالعه هاله‌های ثانویه با اهمیت هستند، روش بررسی رسوبات رودخانه‌ای به‌ویژه در مطالعات کوچک مقیاس و میان‌مقیاس نیز اهمیت ویژه‌ای دارد (Levinson, 1980). نمونه‌برداری ناحیه‌ای از رسوبات آبراهه‌ای با هدف اکتشاف مواد معدنی در اکتشافات ژئوشیمیایی کاربرد گسترده‌ای دارد. ترکیب شیمیایی رسوبات آبراهه‌ای، اطلاعات مهمی از ترکیب سنگ‌شناسی حوضه آبریز و حضور آلاینده‌ها و ذخایر معدنی ارائه می‌دهد (Rantitsch, 2000). از این روش در حوضه‌های آبریز در شرایط گوناگون، بویژه با بارندگی متوسط، استفاده می‌شود. بنیادی‌ترین پیش‌فرض در مطالعات ژئوشیمی رسوبات آبراهه‌ای این است که رسوبات آبراهه‌ای معرف محصول هوازدگی و فرسایش در بالادست محل نمونه است که با مطالعه آن می‌توان منطقه بالادست هر نمونه را از نظر غنی‌شدگی عناصر گوناگون بررسی کرد (حسینی‌پاک، ۱۳۹۱). از مطالعات انجام‌شده در منطقه، می‌توان به پایان‌نامه کارشناسی ارشد عبدلی بهلول آبادی، (۱۳۹۲) اشاره کرد که به بررسی سنگ‌نگاری و ژئوشیمی توده گرانیتوبیدی شمال غرب ورزقان پرداخته است و به این نتیجه دست یافته است که ژئوشیمی عناصر اصلی، فرعی و کمیاب در سنگ‌های نفوذی منطقه مؤید پدیده‌هایی مانند منطقه‌بندی ترکیبی توده‌ها، تغییرات نسبتاً مشخص

آندزیتی تا تراکی آندزیتی پورفیری تا مگاپورفیری، آندزیت پیروکسن دار و آندزیت بازالت با دگرسانی کائولینیتی و آلونیتی، گدازه‌های تراکی آندزیتی تا تراکی با بلورهای درشت آنالسیم، گدازه‌های بازی اولیوین بازالتی، آندزیت بازالتی و پیروکسن آندزیتی همراه با سنگ‌های آذرآواری به صورت توفهای اسیدی به شدت سیلیسی و سریسیتی شده، توفهای بلوری و لیتیک جوش خورده و برشی شده، ایگنمبریت با ترکیب داسیتی تا ریوداسیتی، و توفیت (E^V)، و در نهایت عدسی‌های آهکی نازک لایه حاوی فسفیل نومولیت (E^I) است. واحدهای الیگوسن شامل گندهای ریولیتی (O^F)، برش و ایگنمبریت داسیتی و چندین توده نفوذی بزرگ با ترکیب گرانیتی تا گرانودیوریتی و بافت دانه‌ای است که براساس ویژگی‌های سنگ‌نگاری، به دو گروه بیوتیت-هورنبلند گرانیت (gr^b) و گرانیت قلیایی (gr^a) تقسیم می‌شوند. واحدهای میوسن رسوبی است (M^s) و واحدهای پلیوسن با کنگلومرای سرخ‌رنگ قاعده‌ای و کنگلومرای ماسه‌ای (Pl^s) مشخص می‌شود که بر روی واحدهای رسوبی و آتشفشانی زیردریایی کرتاسه پسین و ائوسن و نیز مارن‌های میوسن قرار دارند. رخنمون‌هایی از سنگ‌های آتشفشانی شامل ایگنمبریت با ترکیب ریولیتی تا ریوداسیتی در جنوب منطقه مورد مطالعه یافت می‌شود (Pl^v). نهشته‌های پلیو-پلیستوسن در بخش غربی منطقه و به طور کلی در دشت اهر رخنمون دارد (QPl^s). واحدهای کواترنری شامل نهشته‌هایی هستند که در دامنه ارتفاعات به صورت پادگانه‌های آبرفتی بلند و مخروط افکنه با ضخامت متغیر تا چندین متر در برخی نقاط دیده می‌شوند.

آذربایجان شرقی قرار دارد و کل مساحت نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ اهر را شامل می‌شود. شهرستان اهر در یک منطقه کوهستانی قرار دارد و مشخصه اصلی آن وجود رشته‌کوه قره‌داغ است. راه دسترسی به ناحیه مورد مطالعه جاده آسفالت تبریز- اهر است. جاده‌های ارتباطی بستان‌آباد- مهربان- اهر و اهر- مشکین‌شهر از دیگر راه‌های ارتباطی منطقه است (شکل ۱). بخش جنوبی منطقه مطالعه شده به طور وسیعی از سنگ‌های رسوبی چین خورده با ساختارهای تاقدیسی و ناودیسی مشخص به سن میوسن پوشیده شده است (شکل ۲). قدیمی‌ترین واحدهای زمین‌شناسی محدوده برگه ۱:۱۰۰۰۰۰ اهر را سنگ‌های آتشفشانی و رسوبی کرتاسه پسین تشکیل می‌دهند (شکل ۲). واحدهای آتشفشانی عمدتاً از جنس آندزیت پورفیری، آندزیت بازالت و الیوین بازالت (K^v) هستند که توسط سنگ‌های آذرآواری اسیدی (برش‌های آتشفشانی زیردریایی و توفیت) و سنگ‌های رسوبی شامل کنگلومرای قاعده‌ای، ماسه‌سنگ، شیل و مارن (K^s) و سنگ آهک فسفیل دار (K^l) همراهی و پوشیده شده‌اند. تقریباً ۵۰ درصد سطح منطقه توسط سنگ‌های آتشفشانی و نفوذی و نیز رسوبی ترشیری پوشیده شده است (شکل ۲). واحدهای رسوبی پالئوسن شامل تناوبی از مارن گچ‌دار، ماسه‌سنگ آهکی و آهک‌های خاکستری روشن با لایه‌بندی نازک هستند (P^s). واحدهای آتشفشانی پالئوسن (P^v) شامل آندزیت تا تراکی آندزیت پورفیری و سنگ‌های آذرآواری مانند توف و آگلومرا است. در رخنمون موجود در شمال هریس این واحد مستقیماً بر روی واحد K^s قرار گرفته است. سنگ‌های آتشفشانی ائوسن بخش وسیعی از نقشه زمین‌شناسی اهر را به‌ویژه در بخش شرقی برگه پوشانده‌اند که عمدتاً شامل گدازه‌های



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی و راه‌های دسترسی به محدوده مورد مطالعه



شکل ۲- نقشه زمین‌شناسی ساده‌شده ۱:۱۰۰۰۰۰ اهر (اقتباس از نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ اهر، مهدوی و امینی‌فصل، ۱۳۶۷)

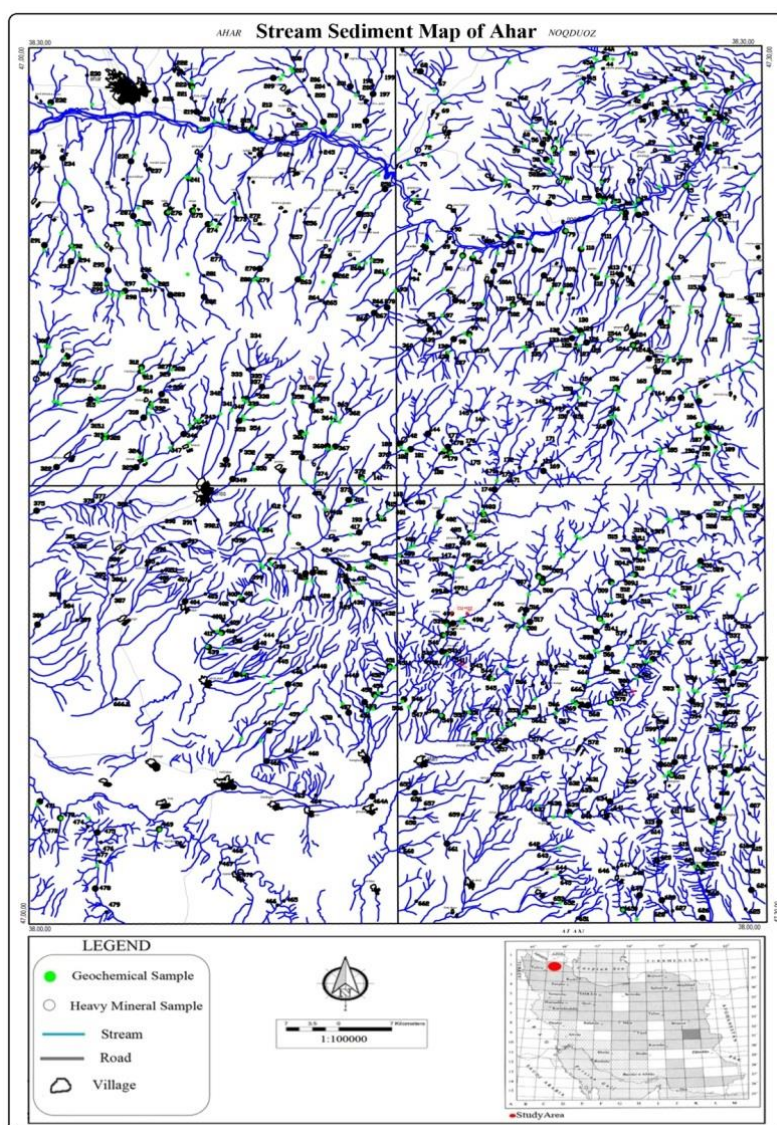
مجاور آنها (همبری‌ها)، نواحی اطراف گسل‌ها و تقاطع آنها، زون‌های دگرسان‌شده پسامگمایی و مناطقی که در بالای توده‌های نفوذی نیمه‌عمیق قرار دارند (حسنی‌پاک، ۱۳۸۰). به همین ترتیب در مواردی که دگرسانی شدید، به‌ویژه در اطراف سنگ‌های نفوذی یا خروجی وجود دارند، درجه مرکز ثقل آبراهه‌ها باید به‌طور محلی افزایش یابد، که این امر به دلیل اهمیت این مناطق است. به دلیل وجود پدیده رقیق‌شدگی در حوضه‌های آبریز وسیع و کاهش شدت بی‌هنجاری‌های احتمالی در محل اتصال آبراهه‌ها به یکدیگر، باید این نوع حوضه‌های آبریز، به حوضه‌های کوچک‌تر تقسیم

۳- روش مطالعه نمونه‌برداری و تجزیه نمونه‌ها

طراحی شبکه نمونه‌برداری این پژوهش، در قالب ۶۲۰ نمونه برای برگه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ اهر صورت گرفته است (شکل ۳). شبکه نمونه‌برداری رسوبات آبراهه‌ای براساس عواملی مانند چینه‌شناسی، سنگ‌شناسی و زمین‌ساخت منطقه طراحی می‌شوند. در طراحی شبکه به روش مرکز ثقل، معمولاً نقاطی در روی نقشه وجود دارند، که می‌بایست چگالی نمونه‌برداری بالایی داشته باشد، از قبیل توده‌های نفوذی و نواحی

نمونه برداری، نمونه‌ای رسوب آبراهه‌ای از جزء ۸۰- به مقدار ۲۰۰ گرم برداشت شده و پس از خشک کردن بسته‌بندی شد. این نمونه‌ها به آزمایشگاه سازمان زمین‌شناسی در تهران ارسال شده و ابتدا تا زیر ۲۰۰ مش پودر شده و سپس تجزیه شدند. مقدار طلای موجود در نمونه‌ها به روش Fire assay و سایر عناصر به روش ICP-OES تعیین شدند. از میان عناصر تجزیه شده، سه عنصر طلا، آرسنیک و آنتیموان جهت شناسایی بی‌هنجاری‌های طلا در منطقه انتخاب شده و پردازش‌های ژئوشیمیایی بر روی آنها صورت گرفت.

شوند. عامل مؤثر دیگر در تقسیم‌بندی یک حوضه آبریز بزرگ به حوضه‌های کوچک‌تر، احتمال وجود بی‌هنجاری‌های ناشی از فعالیت‌های کشاورزی در حاشیه رودخانه‌هایی است که نواحی با توپوگرافی ملایم (قابل کشت) در اطراف آنها وجود داشته باشد. در این راستا مصرف کودهای شیمیایی نباتی، احتمال وجود آلودگی به عنصر کمیاب را در رسوبات پایین دست آنها افزایش می‌دهد (Nude and Arshin, 2009; حسنی‌پاک، ۱۳۸۰). بنابراین در منطقه، فقط از مرکز نقل بخش‌های بالادست کشاورزی که از آلودگی مصون است نمونه برداری شد. در این پژوهش، از هر نقطه شبکه



شکل ۳- موقعیت نمونه‌های برداشت شده در برگه ۱:۱۰۰۰۰۰ اهر رسوبات آبراهه‌ای

۴- تخمین داده‌های سنسورد

انجام می‌شود که از جمله این روش‌ها می‌توان به روش بیشترین درست‌نمایی کوهن، روش ترسیمی و روش جایگزینی ساده اشاره کرد. در این مقاله در بین سه عنصر انتخاب شده فقط عنصر طلا دارای مقادیر سنسورد است و از آن جا که تعداد یافته‌های سنسورد این عنصر کمتر از ده

مقادیر بزرگ‌تر و کوچک‌تر از حد حساسیت دستگاه را داده سنسورد می‌گویند. جایگزینی و برآوردهای داده‌های سنسورد با روش‌های مختلف

۵- بحث

درصد یافته‌ها بود، از روش جایگزینی ساده استفاده شد. این روش شامل جایگزینی داده‌های سنسورد پایین تر از حد تشخیص یا سه‌چهارم حد تشخیص دستگاهی است. حد تشخیص دستگاهی برای عنصر طلا ۱ ppb است.

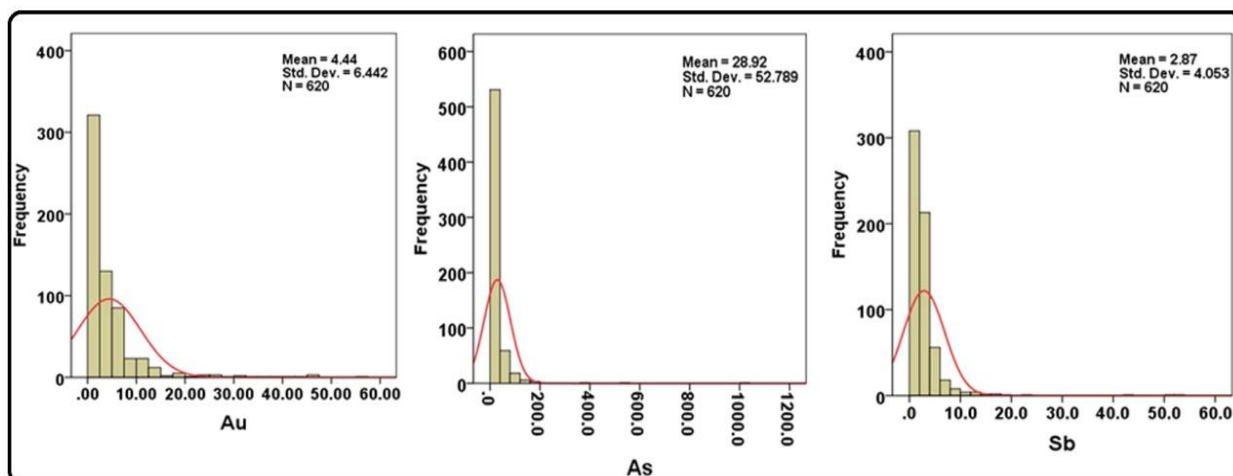
جدول ۱- تخمین داده‌های سنسورد طلا

درصد نمونه جایگزین شده	حد حساسیت (ppb)	تعداد نمونه سنسورد	تعداد نمونه	عنصر
۰/۷۵	۱	۹۴	۶۲۰	Au

به‌منظور تعیین توزیع فراوانی عناصر، پارامترهای آماری، هیستوگرام‌های فراوانی و پراکندگی غلظت در کل جامعه آماری برای سه عنصر انتخابی، براساس داده‌های خام، تهیه و در جدول ۲ و شکل ۴ ارائه شده است. در هیستوگرام‌های فراوانی، محور X معرف کلاسه عیار داده‌ها و محور Y نمایانگر فراوانی هر کدام از این کلاسه‌هاست (Rollinson, 1993).

جدول ۲- محاسبه پارامترهای آماری داده‌های خام و نرمال عناصر

داده‌های نرمال			داده‌های خام			عناصر	
Sb	As	Au	Sb	As	Au	تعداد کل	تعداد نمونه
۶۰۰	۵۹۰	۵۹۶	۶۲۰	۶۲۰	۶۲۰	تعداد کل	تعداد نمونه
۲۰	۳۰	۲۴	۰	۰	۰	حذف شده	
۲/۳۳۶	۲۱/۸۳	۳/۳۸	۲/۸۶۵	۲۸/۹۲۲	۴۴/۴	میانگین	
۱/۹۰۰	۱۸/۹۰۰	۲	۲	۱۹/۸۰۰	۲	میانه	
۱/۹	۱۵/۹	۲	۱/۹	۱۵/۹	۲	مد	
۱/۵۳۳۱	۱۳/۴۰۴۰	۳/۰۲۹	۴/۰۵۳۵	۵۲/۷۸۹۴	۶/۴۴۲	انحراف معیار	
۲/۳۵۰	۱۷۹/۶۶۷	۹/۱۷۵	۱۶/۴۳۱	۲۷۸۶/۷۲۱	۴۱/۴۹۸	واریانس	
۱/۴۰۳	۱/۳۴۲	۱/۷۵۵	۸/۱۰۱	۱۲/۷۹۰	۴/۲۰۷	چولگی	
۰/۱۰۰	۰/۱۰۱	۰/۱۰۰	۰/۰۹۸	۰/۰۹۸	۰/۰۹۸	خطای چولگی	
۲/۲۰۲	۲/۱۵۳	۲/۹۴۴	۸۶/۳۳۸	۲۱۱/۹۸۰	۲۱/۹۴۰	کشیدگی	
۰/۱۹۹	۰/۲۰۱	۰/۲۰۰	۰/۱۹۶	۰/۱۹۶	۰/۱۹۶	خطای کشیدگی	
۰/۲	۱/۵	۱	۰/۲	۱/۵	۱	کمینه	
۸/۷	۷۴	۱۷	۵۳/۲	۱۰۱۰	۵۶	بیشینه	
۱۴۰/۱/۴	۱۲۹۱۱/۲	۲۰۱۳	۱۷۷۶/۳	۱۷۹۳۱/۹	۲۷۵۴	مجموع	



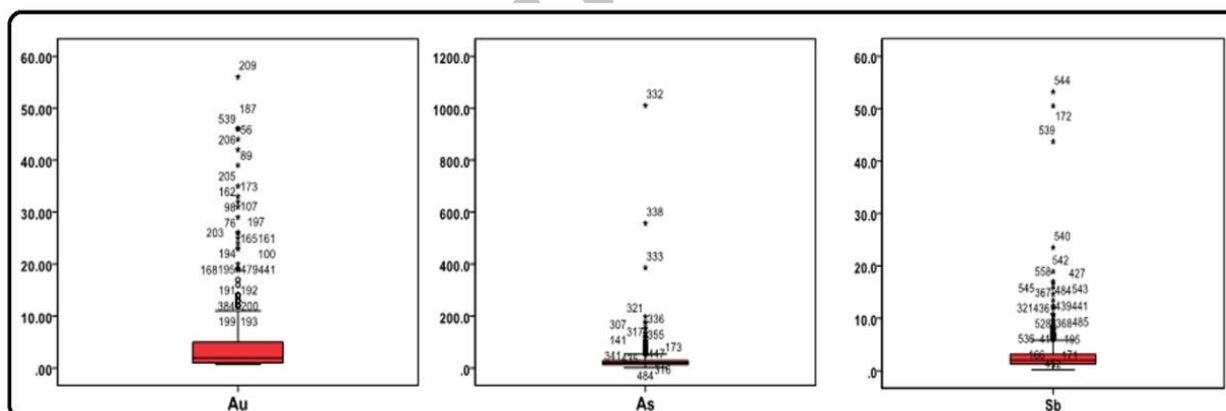
شکل ۴- هیستوگرام فراوانی عناصر آنتیموان، طلا و آرسنیک در منطقه اهر

۵-۲-۱- تعیین مقادیر خارج از رده

هنگام بررسی مقادیر داده‌های خام به نمونه‌هایی برمی‌خوریم که در کرانه‌های بالا و پایین جامعه داده‌ها قرار گرفته‌اند و از جامعه اصلی جدا افتاده‌اند. بنابراین قبل از نرمال‌سازی داده‌ها باید این مقادیر شناسایی و تعدیل شوند. در این پژوهش برای شناسایی مقادیر خارج از رده و حذف آنها از روش نمودار جعبه ای (Box Plot) استفاده شد که نتایج آن در شکل ۵ نشان داده شده است.

۵-۲-۲- پردازش و نرمال‌سازی داده‌ها

با توجه به استفاده از روش آماری به جهت مطالعه داده‌های منطقه مورد مطالعه، فرایندهای حذف مقادیر خارج از رده و تابع لاگ نرمال صورت گرفت که شرح آن به ترتیب زیر است:



شکل ۵- نمودار جعبه‌ای عناصر طلا، آرسنیک و آنتیموان

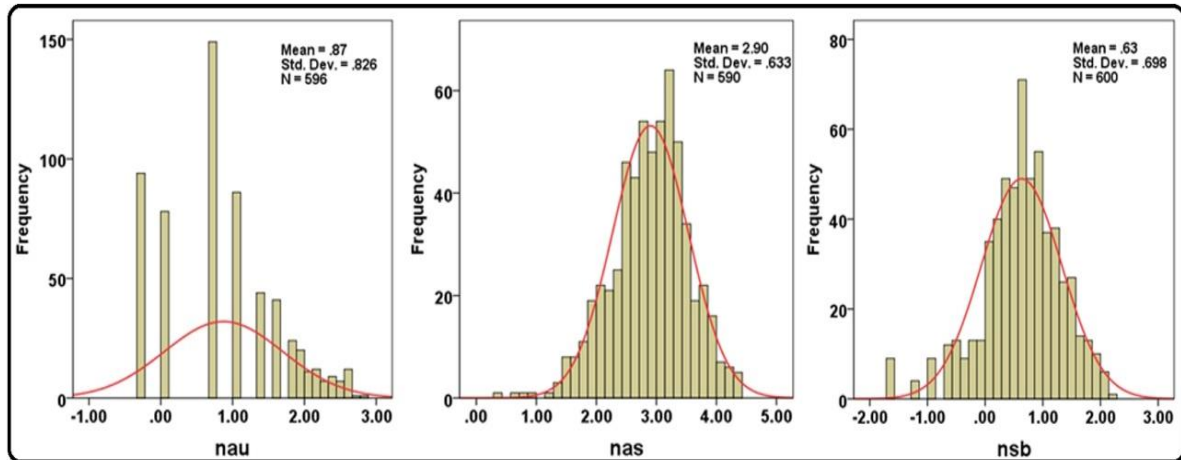
۵-۲-۲- تهیه تابع لاگ نرمال

برای نزدیک کردن توزیع داده‌ها به نرمال از تبدیل لگاریتمی استفاده می‌شود (حسنی‌پاک و شرف‌الدین، ۱۳۸۴). در این پژوهش نیز تبدیل لگاریتمی صورت گرفته و پارامترهای آماری و هیستوگرام‌های فراوانی برای حالت نرمال تهیه شدند (جدول ۲ و شکل ۶). با بررسی این هیستوگرام‌ها می‌توان تابع توزیع، وجود یا عدم وجود چولگی و بی‌هنجاری‌های ارزشمند را مشخص کرد. در توزیع لاگ نرمال با چولگی مثبت، رابطه سه پارامتر میانگین، میانه و مد به صورت روبه‌رو است: مقدار مد < مقدار میانگین <

پس از تعیین مقادیر خارج از رده و حذف آنها، جامعه آماری تا حدود زیادی به نرمال نزدیک می‌شود اما هنوز تا نرمال شدن به شکل واقعی فاصله زیادی دارد. بیشتر روش‌های آماری فرض نرمال بودن توزیع داده‌ها را به همراه دارند در حالی که در مسائل اکتشافی با داده‌هایی سرو کار داریم که کمتر اتفاق می‌افتد شرایط نرمال داشته باشند. با توجه به مطالب یادشده

مقدار میانه. مقادیر مربوط به عناصر طلا و آنتیموان چولگی مثبت نشان می‌دهند. فراوانی عنصر آرسنیک با توجه به همبستگی مثبت و قوی که با طلا دارد، بسیار مشابه منحنی توزیع فراوانی طلا است.

در حالی که بزرگی این کمیت‌ها نسبت به یکدیگر برعکس شود توزیع لاگ نرمال با چولگی منفی خواهد بود (Beus and Grigorian, 1977).



شکل ۶- هیستوگرام نرمال فراوانی عناصر آنتیموان، طلا و آرسنیک

می‌رود. مقادیر ضریب همبستگی عناصر به روش اسپیرمن در جدول ۴ و مقادیر ضریب همبستگی به روش پیرسون در جدول ۵ آمده است. براساس نتایج حاصل از داده‌های خام، بیشترین ضریب همبستگی بین عناصر آرسنیک و آنتیموان با مقدار ۰/۵۹۷ دیده می‌شود. در داده‌های نرمال شده بیشترین همبستگی طلا و آنتیموان ۰/۲۲۷ است.

جدول ۴- محاسبه ضریب همبستگی عناصر به روش اسپیرمن

عناصر	Au	As	Sb
Au	۱	۰/۰۰۸	۰/۲۲۷
As	۰/۰۰۸	۱	۰/۱۹۶
Sb	۰/۲۲۷	۰/۱۹۶	۱

جدول ۵- محاسبه ضریب همبستگی عناصر به روش پیرسون

عناصر	Au	As	Sb
Au	۱	۰/۱۳۶	۰/۳۵۹
As	۰/۱۳۶	۱	۰/۵۹۷
Sb	۰/۳۵۹	۰/۵۹۷	۱

۵-۲-۵- رسم نقشه‌های کنتور هم‌مقدار شیمیایی عناصر

بهبودسازی پروژه‌های اکتشافی و کاهش هزینه‌های این پروژه‌ها از جمله اهدافی است که برای دستیابی به آن از روش‌های آماری مختلفی استفاده می‌شود (Chork, 1991). اکتشافات ژئوشیمیایی به روش آبراهه‌ای در نهایت منجر به هدف‌دارترین بخش یک گزارش اکتشافی می‌شود که نقشه بی‌هنجاری نام دارد و مهم‌ترین و کارآمدترین بخش یک

۵-۲-۳- تعیین مقادیر زمینه، حد آستانه، بی‌هنجاری

روش‌های گوناگونی برای محاسبه و تعیین مقادیر زمینه، آستانه و بی‌هنجاری وجود دارد که همگی بر پایه پیش‌فرض نرمال بودن داده‌ها قرار دارند. این مقادیر با استفاده از میانگین و انحراف معیار به روش زیر محاسبه می‌شوند (جدول ۳).

مقدار زمینه = Mean + Sd

حد آستانه = Mean + 2Sd

بی‌هنجاری = Mean + 2Sd >

جدول ۳- تعیین مقادیر زمینه، حد آستانه و بی‌هنجاری

عناصر	Au (ppb)	As (ppm)	Sb (ppm)
زمینه	<۵/۰۲	<۳۲/۳۱	<۳/۴۲
حد آستانه	۸/۰۴	۴۵/۷۰	۴/۹۶
بی‌هنجاری	>۸/۰۴	>۴۵/۷۰	>۴/۹۶

۵-۲-۴- تعیین ضریب همبستگی عناصر

به منظور پی بردن به ارتباط بین طلا و عناصر همراه آن در محدوده مورد مطالعه و همچنین تشخیص روند غنی‌شدگی عناصر مختلف به طرف بی‌هنجاری طلا، تعدادی از عناصر که شناخت ماهیت و توزیع آنها در سازوکار کانه‌زایی، مهم تلقی شده، انتخاب و ضریب همبستگی (Correlation Coefficient) آنها با طلا محاسبه شد. برای تعیین ضرایب همبستگی بین متغیرها از دو روش اسپیرمن و پیرسون استفاده شد. روش اسپیرمن هنگامی به کار می‌رود، که توزیع داده‌ها نرمال نباشد (Wellmer, 1998) و روش پیرسون بعد از نرمال کردن داده‌ها به کار

در شمال کوه قوشه‌داغ واقع است (شکل ۸). در این زون، یک توده نفوذی با ترکیب گرانیت قلیایی تا هورنبلند بیوتیتی گرانیت نفوذ کرده است که موجب رخداد دگرسانی گرمایی در داخل سنگ‌های دربرگیرنده شامل بازالت آندزیتی-گدازه داسیتی-آندزیتی و آندزیت پورفیری، پالئوسن و ائوسن شده به گونه‌ای که برای مثال موجب سیلیسی‌شدگی بازالت آندزیتی شده است.

زون دوم: این بی‌هنجاری در بخش شمال شرقی برگه اهر واقع است (شکل ۸). در اینجا نیز توده‌هایی از جنس گرانیت قلیایی و هورنبلند-بیوتیت گرانیت به داخل سنگ‌های آتشفشانی عمدتاً آندزیتی ائوسن نفوذ کرده و موجب شکل‌گیری زون‌های دگرسانی در داخل آنها شده‌اند.

زون سوم: این بی‌هنجاری به مساحت تقریبی ۴۰ کیلومتر مربع، منطبق بر روستای سوناجیل و اینچه در مرکز برگه اهر است (شکل ۸). توده نفوذی با ترکیب گرانیت قلیایی تا هورنبلند بیوتیت گرانیت به داخل واحدهای آندزیت پیروکسن‌دار، توف برشی و ایگنیمبریت ائوسن جایگیری نموده و علاوه بر رخداد زون‌های دگرسانی گرمایی، کانی‌سازی مس پورفیری نیز در این محدوده شکل گرفته است (شکل ۷).

پروژه ژئوشیمیایی است و نقش ویژه و ارزنده‌ای در تعیین مناطق امیدبخش دارد. در این بخش به تشریح پراکنش ژئوشیمیایی و بی‌هنجاری‌های عنصر تجزیه‌شده می‌پردازیم.

کریچینگ یکی از روش‌هایی است که با استفاده از داده‌های مربوط به نقاط نمونه‌برداری شده، برآوردهایی در مورد نقاطی که از آنها نمونه‌برداری نشده، انجام می‌دهد (حسنی‌پاک، ۱۳۸۰). با توجه به گستردگی مناطق تحت پوشش به روش رسوبات آبراهه‌ای و نیز چگالی پایین نمونه‌برداری به‌ویژه در ایران روش کریچینگ کارایی بهتری دارد (حسنی‌پاک، ۱۳۸۰). با توجه به مقادیر محاسبه‌شده برای زمینه، حدآستانه‌ای و بی‌هنجاری عناصر مورد مطالعه و با کمک نقشه‌های کنتوری هم‌مقدار شیمیایی، توزیع این عناصر و محل بی‌هنجاری‌ها در سطح منطقه براساس شکل‌های ۷، ۸ رسم شد.

براساس این نقشه‌ها بی‌هنجاری‌های عناصر مورد مطالعه به قرار زیر است.

۵-۲-۱-۵-۱- طلا

زون اول: این بی‌هنجاری به مساحت ۱۰۴ کیلومتر مربع در شرق اهر و



شکل ۷- نمایی از رگچه سیلیسی حاوی کانه‌زایی مس در منطقه

کنگلوما و مارن قرمز میوسن هستند، و با در نظر گرفتن این مسئله که زون بی‌هنجاری دوم آرسنیک نیز در مجاورت توده نفوذی سوناجیل قرار دارد، این احتمال وجود دارد که شبکه آبراهه‌ای منشأ گرفته از ارتفاعات توده نفوذی گرانیت قلیایی حاوی کانی‌سازی مس سوناجیل، احتمالاً این عنصر را به صورت محلول منتقل و در منطقه پخش کرده است.

زون دوم: این بی‌هنجاری در روستای سوناجیل و اینچه قرار دارد (شکل ۸) و منطبق بر زون بی‌هنجار شماره ۳ مس و زون بی‌هنجار شماره ۱ آنتیموان است.

۵-۲-۳-۵-۳- آنتیموان

زون اول: این بی‌هنجاری در مجاورت روستای سوناجیل و اینچه در

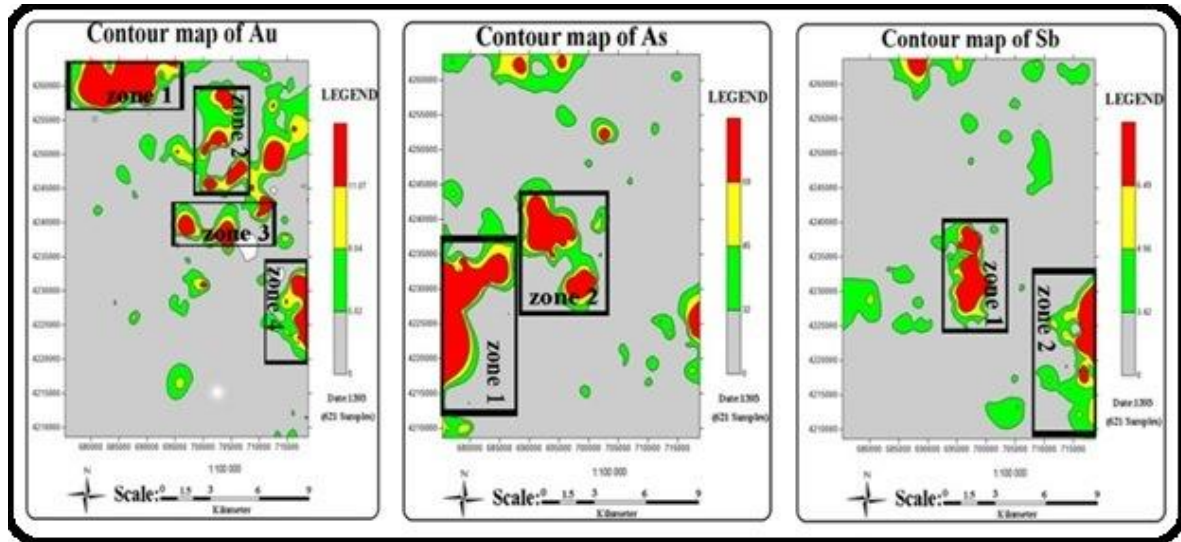
زون چهارم: این بی‌هنجاری به مساحت تقریبی ۴۰ کیلومتر مربع در بخش جنوب غربی برگه اهر و جنوب کوه اوغلان داغ واقع است (شکل ۸). در اینجا براساس نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ اهر، دگرسانی‌های گرمایی گسترده‌ای در داخل گدازه‌های آندزیتی تا تراکی آندزیتی پلیوسن مشاهده می‌شوند. بیشترین مقدار طلای به‌دست آمده در تجزیه نمونه‌ها مربوط به این زون است.

۵-۲-۵-۲- آرسنیک

زون اول: این بی‌هنجاری در بخش جنوب غرب برگه ۱:۱۰۰۰۰۰ اهر و غرب و جنوب غرب هریس واقع است (شکل ۸). و با توجه به جنس واحدهای تشکیل‌دهنده این زون که عمدتاً مارن ژپیس‌دار، آهک مارنی،

زون دوم: این بی‌هنجاری در بخش غرب محدوده و جنوب کوه اوغلان‌داغ واقع است (شکل ۸) و منطبق بر زون بی‌هنجار شماره ۴ طلا است. این بی‌هنجاری در ارتباط با رخداد دگرسانی‌های گرمایی در داخل واحدهای آتشفشانی پلیوسن است.

مرکز برگه اهر قرار دارد (شکل ۸) و می‌تواند در ارتباط با جایگیری توده نفوذی گرانیت قلیایی تا هورنبلند بیوتیت گرانیت الیگوسن در واحد آندزیت پیروکسن‌دار، همراه با توف برشی و ایگنیمبریت ائوسن باشد. این بی‌هنجاری منطبق بر زون بی‌هنجاری شماره ۳ طلا است.



شکل ۸- نقشه کنتری هم‌مقدار شیمیایی عنصر طلا، آرسنیک و آنتیموان در منطقه اهر

نتیجه‌گیری

حسینی‌پاک، ع.، ۱۳۹۱، "اصول اکتشافات ژئوشیمیایی" انتشارات دانشگاه تهران، ۶۱۵ صفحه.

حسینی‌پاک، ع.، شرف‌الدین، م.، ۱۳۸۴، "تحلیل داده‌های اکتشافی" انتشارات دانشگاه تهران، ۱۰۱۴ صفحه.

زربسی، ر.، ۱۳۸۲، "بررسی زمین‌شناسی اقتصادی اسکارن منطقه گودال" پایان‌نامه کارشناسی ارشد زمین‌شناسی اقتصادی، دانشگاه تبریز، ۱۰۰-۱۰۴ صفحه.

عبدیلی بهلول‌آبادی، م.، ۱۳۹۲، "بررسی پترولوژی و پتروگرافی و ژئوشیمی توده گرانیتوئیدی چیچکلی (شمال غرب ورزقان)" پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تبریز، ۱۳۶ صفحه.

غنی‌زاده، م.، ۱۳۸۹، "بررسی زمین‌شناسی اقتصادی در منطقه چیچکلی (شمال غرب ورزقان)" پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تبریز، ۸۸ صفحه. مهدوی، م. ع. امینی‌فضل، ع.، ۱۳۶۷، "نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ اهر" انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

Beus, A. A. and Grigorian, S.V., 1977, "Geochemical exploration methods for mineral deposits", Applied Publishing Ltd, Wilmette, Illinois, P.287.

Chork, C.Y., 1991, "An assessment of last median of squates regression in exploration geochemistry", Geochemical exploration. P.325-340.

Calagari, A.A., 1997, "Geochemical, stable isotope, noble gas and fluid inclusion studies of mineralization and alteration at Sungun porphyry copper deposit, East-Azarbaidjan, Iran", Implication for genesis. Unpublished Ph.D. Thesis, Manchester University, Manchester, P.537.

با تلفیق داده‌های مربوط به توزیع سه عنصر طلا، آرسنیک و آنتیموان در سطح برگه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ اهر و نقشه‌های کنتری هم‌مقدار شیمیایی تهیه‌شده برای آنها در این مطالعه، می‌توان چنین نتیجه‌گیری کرد که بی‌هنجاری طلا به همراه بی‌هنجاری‌های آرسنیک و آنتیموان عمدتاً در ارتباط با توده‌های نفوذی گرانیت قلیایی تا هورنبلند-بیوتیتی گرانیتی الیگوسن و زون‌های دگرسانی حاصل از سیالات گرمایی مرتبط با آنها در داخل سنگ‌های آتشفشانی پالئوسن و ائوسن هستند. از این رو، شناسایی این توده‌ها و زون‌های دگرسانی در سطح منطقه و نیز در بخش‌های عمقی، که توسط روش نمونه‌برداری رسوب آبراهه‌ای قابل ردیابی نیستند، می‌تواند راهنمای اکتشافی برای طلا و عناصر همراه در سطح منطقه باشد.

مراجع

اشرفی، ن.، ۱۳۸۳، "بررسی‌های پترولوژیکی و ژئوشیمیایی توده رزگاه (شرق مهربان)" پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تبریز، ۹۷ صفحه. حسین‌زاده، ق.، ۱۳۸۷، "مطالعات زمین‌شناسی، ژئوشیمی، سیالات درگیر، کانی‌سازی، دگرسانی و ژنز کانسار مس پورفیری سوناجیل، شرق هریس (استان آذربایجان شرقی)" رساله دکتری، دانشگاه تبریز، ۲۱۴ صفحه. حسینی‌پاک، ع.، ۱۳۸۰، "تحلیل داده‌های اکتشافی" انتشارات دانشگاه تهران، ۹۸۷ صفحه.

- Calagari, AA., 2003**, "Stable isotope (S, O, H and C) studies of phyllic and potassic-phyllic alteration zones of the porphyry copper deposit at Sungun", *East-Azarbaidjan, Iran. J Asian Earth Sci* 21:P.767, 780.
- Calagari, AA., 2004a**, "Geology and fracture-related hypogene hydrothermal alteration and mineralization of porphyry copper deposit at Sungun, Iran", *J Geol Soc India* 64: P.595-618.
- Calagari, AA., 2004b**, "Fluid inclusion studies in quartz veinlets in the porphyry copper deposit at Sungun", *East-Azarbaidjan, Iran. J Asian Earth Sci* 23: P.179-189.
- Levinson, A.A., 1980**, "Introduction to exploration geochemistry", *Applied publishing Ltd., Wilmette, Illinois, P.924.*
- Nude, P.M. and Arhin, E., 2009**, "Overbank sediments as appropriate geochemical sample media in regional stream sediment surveys for gold exploration in the Savannah regions of northern Ghana", *Journal of Geochemical Exploration*, 103 (1), P.50-56.
- Rantitsch, G., 2000**, "Application of fuzzy clusters to quantify lithological background concentrations in stream-sediment geochemistry", *Journal of Geochemical Exploration*, 71, P.73-82.
- Rollinson, H. R., 1993**, "Using geochemical data: evaluation, presentation, interpretation", *Longman, P.352.*
- Wellmer, F. W., 1998**, "Statistical evaluations in exploration for mineral deposits", *Springer-Verlag, New York, P.379.*

Archive of SID

