فصلنامه علمی پژوهشی زمین شناسی محیط زیست
سال دوازدهم، شماره ۴۴، پاییز ۹۷

بررسی‌های ژئوشیمیایی رسوبات آبراهه‌ای جهت تعیین کانه‌زایی طلای پهنه برشی مطالعه موردی: منطقه آلوت در استان کردستان

فردین احمدی*[۱] و محی الدین محمدپور[۲]

۱-دانشجوی دکتری اکتشاف مواد معدنی، گروه مهندسی معدن، دانشگاه صنعتی شاهرود f.ahmadi_uk@yahoo.com

۲-دانشجوی دکتری اکتشاف مواد معدنی، گروه مهندسی معدن، دانشگاه تهران

تاریخ دریافت: ۹۷/۱/۲۰ تاریخ پذیرش: ۹۷/۶/۲۲

چکیده

بررسی‌های ژئوشیمیایی رسوبات آبراهه‌ای از جمله روش‌های بسیار متداول و پرکاربرد در اکتشافات مواد معدنی و به ویژه طلا می‌باشد. در این مطالعه ابتدا با بررسی‌های آماری تک متغیره، از جمله مقایسه ماکزیمم و مینیمم هر عنصر با مقدار زمینه و رسم هیستوگرام و نمودار احتمال، به شناسایی عناصر با اهمیت پرداخته شد. پس از آن به کمک روش‌های آماری چند متغیره مانند آنالیز مؤلفه‌های اصلی و آنالیز خوشه‌ای، مؤلفه‌های با اهمیت و همچنین عناصری که با هم ارتباط و همبستگی نزدیکی دارند، شناسایی گردید. این تحلیل‌ها حاکی از با اهمیت بودن عناصر طلا، جیوه، برلیم، تیتان، مولیبدن و قلع می‌باشد. مؤلفه های ۳ و ۷ به عنوان مؤلفه‌های با اهمیت شناسایی و نقشه این مؤلفه‌ها ترسیم گردید. در ادامه روند کار، مدلسازی عنصر طلا در مقیاس لگاریتمی صورت پذیرفت. نتیجه مدلسازی نشان می‌دهد که ۸۰ درصد داده‌ها درست کلاس‌بندی شده‌اند. پس از آن داده‌های عنصر طلا به سه زیر جامعه زمینه (کد صفر)، جامعه گذر از زمینه به آنومالی (کد یک) و جامعه آنومالی (کد ۲) تفکیک گردید. و در نهایت نقشه پراکندگی عیار طلا با توجه به این زیر جوامع تهیه شد که سه قسمت از منطقه به عنوان نواحی امید بخش و با پتانسیل قابل شناسایی است. نقشه آنالیز تمایز نیز برای ۸ عنصر تهیه شد که نشان دهنده رفتار متضاد طلا و آرسنیک می‌باشد.

واژگان کلیدی: آلوت، طلا، رسوبات آبراهه‌ای، آنالیز مؤلفه‌های اصلی، هیستوگرام، آنالیز تمایز.

مقدمه

نظر به اینکه فلز طلا به عنوان یک سرمایه ملی و پشتوانه اقتصادی کشور مطرح می‌باشد. بررسی‌های پژوهشی در زمینه اکتشاف طلا با توجه به زمین‌شناسی مطلوب ایران برای تشکیل ذخایر طلا به ویژه طلاهای تیپ اپی‌ترمال و مرتبط با پهنه‌های برشی که می‌توانند ذخایر بزرگی را تشکیل دهند، می‌تواند پژوهشگران را در شناسایی بهتر این منابع در کشور و همچنین یافتن ذخایر اقتصادی یاری نماید (بدخشان ممتاز، ۱۳۸۸).

یکی از روش‌هایی که در مراحل اولیه اکتشاف در شناسایی مناطق امید بخش به طور مؤثری مورد استفاده قرار می‌گیرد و در عین حال از بهترین راه‌های شناسایی منابع طلا است ژئوشیمی رسوبات آبراهه‌ای می‌باشد. هدف وکوشش اصلی ژئوشیمی اکتشافی یافتن نهشته‌های جدید فلزی، غیرفلزی، ذخایر نفت خام و گاز طبیعی است. در تمام این موارد، انگیزه‌ی این کوشش‌ها یکسان است و آن یافتن تمرکزهایی از یک یا چند عنصر، یا ترکیبات آن‌ها یا غلظتی بالاتر از حد مقدار زمینه است، به نحوی که بتوان آن را تمرکز غیرعادی یا آنومالی تلقی کرد و امیدوار بود که این غلظت غیرعادی عناصر با کانی سازی در ارتباط باشد (حسنی پاک، ۱۳۸۷).

شکی نیست که با گذشت زمان نهشته‌های کانساری با عیار کم، اقتصادی می‌گردند. از نقطه نظر علمی، تعیین مکان واقعی این نهشته‌های کم عیار فوق العاده مشکل است. در واقع ژئوشیمی اکتشافی بیشتر برای کشف نهشته‌های کم عیار مناسبت و توسعه یافته است. علت کارآیی ژئوشیمی اکتشافی این است که روش‌های ژئوشیمیایی روش‌های مستقیمی هستند که در آن‌ها برای کشف و ثبت آنومالی‌های حاصل از فراوانی غیرعادی یک عنصر معین، خود آن عنصر و یا عنصری در ارتباط با آن اندازه گیری و سنجیده می‌شود (حسنی پاک، ۱۳۸۷).

اکتشافات ناحیه‌ای در مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ در زمره‌ی عملیات اکتشافی زیربنایی به حساب می‌آید که هدف آن شناخت نواحی با پتانسیل معدنی است. برای نیل به این، از روش‌های مختلف ژئوفیزیکی، ژئوشیمیایی و اطلاعات ماهواره‌ای می‌توان بهره برد. نقشه‌برداری ژئوشیمیایی در مقیاس ناحیه‌ای نیز یکی از این روش‌ها است که می‌تواند با نمونه‌برداری از رسوبات آبراهه‌ای انجام پذیرد. به طور تجربی ثابت شده است که رسوبات آبراهه‌ای (عموماً جزء ۸۰- مش) می تواند در اکتشافات کوچک مقیاس ناحیه‌ای بسیار مفید واقع شود. نتایج حاصل از این نوع بررسی‌های اکتشافی می‌تواند در تحلیل ایالات ژئوشیمیایی و شناخت الگوهای ژئوشیمیایی ناحیه‌ای و همچنین نواحی‌ای که در آن‌ها احتمال کشف نهشته‌های کانساری بیشتر می‌باشد، بسیار مؤثر واقع می‌شود (Carranza, 2009).

اولین گام در شناخت خصوصیات داده‌های اکتشافی محاسبه پارامترهای آماری داده‌ها نظیر، میانگین، انحراف معیار، واریانس، چولگی و کشیدگی است. بررسی ویژگیهای توزیع عناصر با بهره‌گیری از پارامترهای ساده آماری تک متغیره و ترسیم هیستوگرام فراوانی عناصر با رسم منحنی نرمال صورت می‌گیرد. هیستوگرام ترسیم‌شده سه ویژگی موقعیت، پراکندگی و شکل داده را توصیف می‌کند. روش‌های آماری چند متغیره در خلاصه‌سازی داده‌ها و کاهش تعداد متغیرهای لازم برای توصیف آن‌ها بسیار مفید است. نتیجه به‌کارگیری این روش معمولاً شاخص‌های کمتر و متغیرهای جدید است که تشریح کننده تغییراتی بوده و می‌توانند به خصوصیات ژئوشیمی-زمین-شناسی گره بخورند. شناخت الگوی پراکندگی عناصر در محیط‌های مختلف در راستای شدت بخشیدن به هاله و ثبت بی‌هنجاری‌های ضعیف، اهمیت بسزایی دارد. بنابراین، ضرورت وجود روش‌هایی برای بهینه‌سازی فرایندهای ژئوشیمیایی و ثبت بی‌هنجاری‌های واقعی اهمیت دارد یکی از روش‌هایی که کاربرد فراوانی در مطالعات اکتشافی و بررسی الگوی ژئوشیمیایی عناصر دارد، روش آماری چند متغیره است. این روش به بررسی تغییرات همزمان چند متغیر و استنباط آماری ناشی از آن می‌پردازد و به دلیل دارا بودن خطای کمتر و اعتبار بیشتر نسبت به روش‌های آماری تک متغیره یا دو متغیره کاربرد فراوانی در مطالعات علوم زمین دارد.

ثبت بی‌هنجاری‌های بهینه ژئوشیمیایی نیازمند پی‌جویی-های توجیهی است که یکی از لایه‌های مهم آن انتخاب روش بهینه تحلیل داده‌ها است. با نگاهی به فاکتورهای زمین‌شناسی برای انتخاب مجموعه داده‌ها، روش آنالیز مؤلفه‌های اصلی قادر است عناصر وابسته به محیط را مشخص کند. این آنالیز، مبتنی بر بردارهای ویژه و مقادیر ویژه است. در این روش، با استفاده از بردارهای ویژه و مقادیر ویژه، جهت‌هایی با حداکثر تغییرپذیری شناسایی می‌شود. سپس با تعریف متغیرهای جدیدی که ترکیب خطی از متغیرهای اولیه است، تعداد ابعاد کاهش‌یافته و نقش هر یک از متغیرها در تغییرپذیری مشخص می‌شود (حسنی پاک، ۱۳۷۸).

آنالیز مؤلفه‌های اصلی (PCA)، بارهایی را به عناصر و ترکیبات نسبت داده و منجر به حذف اثر ترکیب سنگی و ثبت الگوهای بهینه ژئوشیمیایی می‌شود. این روش تکنیکی است جهت پیدا کردن ترکیبات خطی از متغیرهای اولیه همبسته که یک دستگاه محور جدید در امتداد بیشترین واریانس داده‌ها را تشکیل داده‌اند. مؤلفه‌ای که درصد بیشتر تغییرپذیری را شامل می‌شود، به‌عنوان مؤلفه اصلی اول (PC1) و مؤلفه بعدی (PC2) عمود بر مؤلفه اول بوده و درصد تغییرپذیری کمتری را شامل می‌شود. مؤلفه‌های سوم، چهارم و ...، مقادیر یکنواخت واریانس کاهش‌یافته در دستگاه داده‌ها را شامل می‌شوند (هندی، ۱۳۸۲).

چرخش عامل‌ها فرایندی برای تعدیل محور عاملی به‌منظور دست‌یابی به عامل‌های معنی‌دار ساده انجام می‌گیرد. ساده‌ترین حالت دوران، یک دوران متعامد است که محورهای جدید باهم زاویه ۹۰ درجه می‌سازند. در حالتی که دوران باعث شود تغییر زاویه کمتر از ۹۰ درجه باشد، دوران صورت گرفته را مورب گویند. دوران واریمکس یک دوران متعامد است که روی بارهای فاکتوری صورت می‌گیرد. این دوران تغییرات مربعات عناصر ستون بارهای فاکتوری را ماکزیمم می‌کند. جهت بررسی توأم همبستگی-های موجود و درک ملموس‌تر روابط پاراژنزی بین عناصر لازم است از روش‌هایی استفاده کرد که در آن‌ها گروه‌های همگن و مشابه از یکدیگر متمایز شوند. آنالیز خوشه‌ای یک ابزار مناسب برای جداسازی متغیرهای مشابه است (Robert and Grunsky, 2001). نمودار احتمال از تکنیکهای ترسیمی می‌باشد که به برررسی رفتار متغیر مورد

مطالعه و نحوه پراکندگی آن در جامعه می‌پردازد. لگاریتمی قابل ترسیم می‌باشند، به بررسی توزیع عیارهای عنصر مورد نظر در جامعه و معرفی زیر جوامع موجود در بین داده‌های ژئوشیمیایی می‌پردازد (قوامی ریابی و همکاران، ۱۳۸۹). نمودار احتمال دوایر توخالی نشان‌دهنده داده‌های خام گروه‌بندی شده هستند که روند آن‌ها تغییرات زیادی را از خود نشان می‌دهند. به منظور آشکار سازی این روندها لازم است تا بر اساس تکنیک‌های حداقل سازی انحرافات به مدل‌سازی داده‌ها پرداخته شود در روند مدل‌سازی لازم است تا تعداد زیرجوامع به گونه‌ای تعیین گردد که بر اساس اطلاعات زمین‌شناسی، ژئوشیمیایی و معدنی قابل توجیه باشد تا مدل مربوطه بیشترین انطباق ممکن را با داده‌ها ایجاد نماید (قوامی ریابی و همکاران، ۱۳۸۹).

عنوان آنالیز تمایز عنوانی است که در مراجع مختلف (Cooley and Lohnes, 1971; Klecka, 1980; Ghannadpour and Hezarkhani, 2016)، برای بیان طیفی از روش‌های آنالیز آماری چند متغیره بکار می‌رود. این روش وسیله ای است برای سنجش میزان وابستگی و ارتباط یک نمونه با یکی از جوامع مشخص و معلوم که در این روش لازم است جوامع مورد نظر از قبل معلوم باشند و یا حداقل تعریف شده باشند. در واقع آنالیز تمایز براساس مشخصه‌های مختلف برای گروه‌بندی مشاهدات بکار می رود. در آنالیز واریانس چند متغیره، متغیرهای مستقل تشکیل گروه‌های مختلف را می دهند و متغیرهای وابسته نقش تخمین گر را بازی می کنند و لی در روش آنالیز تمایز متغیرهای مستقل نقش تخمین گر را بازی می کنند و متغیرهای وابسته تشکیل گروه ها را می دهند. بطور کلی می توان گفت که آنالیز تمایز به عنوان یک روش چند متغیره که دارای توانایی قرار دادن نمونه های جدید در جوامع مشخص و معلوم از قبل تعیین شده است می تواند یک ابزار مفید در اکتشاف مواد معدنی و شناسایی انواع کانی شناسی باشد (محمدزاده و همکاران، ۱۳۹۰). **در این مطالعه نتایج حاصل از آنالیز ۸۲۴ نمونه برای ۲۰ عنصر مورد بررسی قرار گرفته است که در ابتدا با بررسی‌های آماری تک متغیره، از جمله مقایسه ماکزیمم و مینیمم هر عنصر با مقدار زمینه و رسم هیستوگرام و نمودار احتمال، به شناسایی عناصر با اهمیت پرداخته شد.** پس از بررسی‌های آماری تک متغیره، به تحلیل‌های چند متغیره پرداخته شد که در آن ابتدا با استفاده از آنالیز خوشه‌ای و رسم دندوگرام عناصر، میزان همبستگی و ارتباط آن‌ها مورد ارزیابی قرار گرفت. با استفاده از روش آنالیز مؤلفه‌های اصلی، ماتریس مقادیر مؤلفه‌های دوران یافته تهیه گردید و بر اساس نتایج و مقادیر، نقشه مؤلفه‌های ۳ و ۷ تهیه شد. در ادامه با مدلسازی نمودار احتمال طلا، حدود آستانه ای تعیین و برای آن سه زیر جامعه مشخص شد، به هر زیر جامعه یک کد اختصاص داده شده و با انجام آنالیز تمایز، ابتدا اعتبار سنجی تفکیک زیر جامعه‌ها مورد ارزیابی قرار گرفت که بر اساس آن ۸۰ درصد کل نمونه‌ها به صورت درست تفکیک شده‌اند. در ادامه نمودار آنالیز تمایز تهیه و مورد ارزیابی قرار گرفت و در نهایت نقشه پراکندگی عیار عنصر طلا با توجه به مقادیر آنومالی به دست آمده تهیه گردید.

موقعیت جغرافیایی و راه‌های ارتباطی محدوده

محدوده طلادار آلوت در حدفاصل جنوب‌شرقی شهرستان سردشت و شرق بانه واقع می‌باشد و محدوده‌ای میان طول-های شرقی ´۳۰ ۴۵ تا ´۰۰ ۴۶ و عرض‌های شمالی ´۰۰ ۳۶ تا ´۳۰ ۳۶ را در برمی‌گیرد. جاده اصلی مهاباد- سردشت- بانه و نیز بانه- سقز از درون ورقه آلوت می‌گذرد و توسط راه‌های شوسه و فرعی درجه ۲ و مال‌رو می‌توان به بخش-هایی از منطقه دسترسی یافت؛ ولی به علت کوهستانی بودن منطقه، بسیاری از مناطق صعب‌العبور و فاقد جاده اتومبیل-رو هستند. آب و هوای آن نیز به علت کوهستانی بودن دارای زمستان‌های سرد و برفی و تابستان‌های معتدل می-باشد (افتخارنژاد، ۱۳۵۲).(شکل ۱)

زمین شناسی و تکتونیک ناحیه

ایالت طلادار زون سنندج- سیرجان با درازای حدود ۱۵۰۰ کیلومتر و پهنای ۱۵۰ تا ۲۰۰ کیلومتر که از شمال باختر دریاچه ارومیه تا گسل میناب ادامه می‌یابد. دارای کانسارها و نشانه‌های معدنی مهم طلا در ارتباط با پهنه‌های برشی، ماگماتیسم و به صورت پلاسری می‌باشد. این زون از نظر توزیع و پراکندگی کانسارها و نشانه‌های معدنی طلا به دو بخش شمالی (گلپایگان- نقده- ماکو) و جنوبی (گلپایگان- سیرجان) تقسیم می‌شود که بخش شمالی از نظر کانی‌زایی طلا غنی‌تر بوده و کانسارهای موته، داشکسن، کرویان، باریکا، میرگه‌نقشینه، آستانه و نشانه‌های معدنی واقع در محور ماکو- اشنویه، الوند همدان، الیگودرز، باختر جلدیان و خرابه پیرانشهر را شامل می‌شود.

شکل ۱- موقعیت جغرافیایی و راههای ارتباطی منطقه

در بخش جنوبی نیز کانسارهای زرترشت و چاه گز گزارش شده است (مقصودی و همکاران، ۱۳۸۴).

منطقه مورد مطالعه بخشی از ورقه ۱/۱۰۰۰۰۰ آلوت می‌باشد که از نظر ساختاری در زون سنندج- سیرجان قرار دارد. نقشه زمین شناسی برگه ۱/۱۰۰۰۰۰ آلوت به صورت رقومی شده در شکل ۲ آورده شده است. به علت تکتونیک شدید، جابجایی‌ها و راندگی‌های فراوان با روند شمال-غرب- جنوب‌شرق و به موازات کمربند چین‌خورده زاگرس دیده می‌شود.روند عمومی ساختارها N140W بوده و سیستم حاکم بر منطقه از برشی- راندگی می‌باشد. از نظر زمین‌شناسی ناحیه‌ای، سنگ‌های دگرگونی شامل گنیس، آمفیبولیت، میکاشیست، فیلیت و اسلیت با سن پروتروزوئیک پسین تا کرتاسه بخش قابل توجهی از سنگ-های این ناحیه را تشکیل می‌دهند و توده‌های نفوذی با ترکیب گرانیت تا دیوریت- گابرو با سن بعد از کرتاسه در سنگ‌های دگرگونی فوق تزریق شده‌اند. از ویژگی‌های مشخص این ناحیه جایگیری توده‌های نفوذی بزرگ است که بویژه در بخش‌های شرق ناحیه رخ داده است؛ به نظر می‌رسد که جایگیری این توده‌ها در رژیم فشاری- برشی اتفاق افتاده است (افتخارنژاد، ۱۳۵۲).

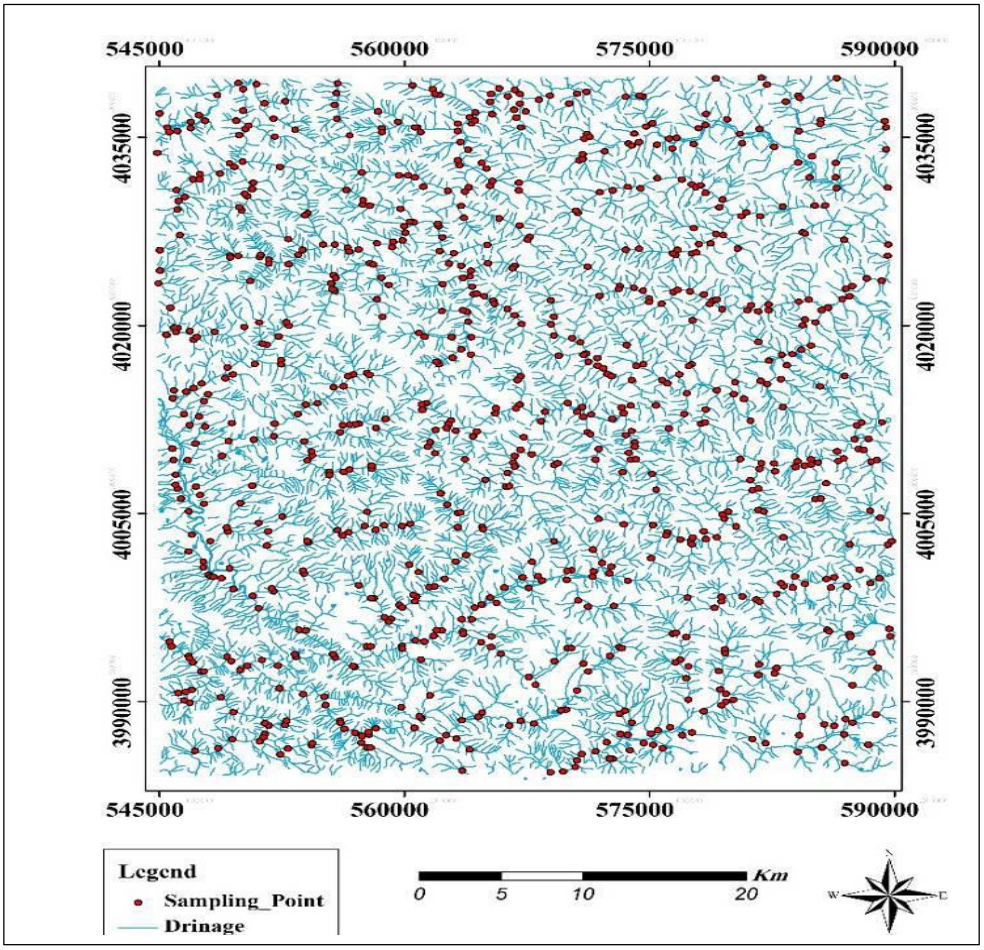
چین‌ها در مرتبه دوم اشکال زمین‌ساختی ورقه آلوت هستند؛ که به طور عمده در نتیجه غلبه گسل‌ها و راندگی‌ها، کمتر توسعه یافته‌اند. چین‌های معکوس که شیب لایه‌های دو یال آن به سمت شمال‌شرق می‌باشد، از نوع چین‌های وابسته به گسل هستند، که گسترش کمی داشته و در قالب چین‌های هم‌راستا با گسلش و به صورت انواع هم‌شیب و تک‌شیب نمایان می‌شوند. دره‌هایی که در نتیجه حفر رودخانه‌ها پدید آمده‌اند، افزون بر فرسایش ناشی از جریانات آب، تابع شرایط تکتونیکی و عملکرد گسل‌ها هستند. پیدایش این آبراهه‌ها علاوه بر جنس سنگ تابع عواملی نظیر شیب و جهات ساختمانی نیز می‌باشد (افتخارنژاد، ۱۳۵۲).

به طور کلی در محدوده مورد مطالعه یکسری سنگ‌های دگرگونی با درجه کم دیده می‌شود که گسترش وسیعی در منطقه داشته و شامل شیست، فیلیت و اسلیت می‌باشند. این واحدها دارای روندی به طور عمده شمال‌غرب- جنوب-شرق بوده و موازی با راندگی اصلی زاگرس هستند. درجه دگرگونی این واحد ضعیف و در بعضی مناطق بسیار ضعیف بوده و دارای مرفولوژی نرم می‌باشد. در محدوده ورقه آلوت، گرانیت، دوران کهن‌ترین فاز ماگمایی است که به درون واحدهای دگرگونی پرکامبرین نفوذ کرده است. پیش از آن، از ریولیت‌های مجموعه دگرگونی باید یاد کرد که در پهنه‌ای گسترده از جنوب مهاباد تا شمال بانه رخنمون یافته‌اند و به بالاترین بخش مجموعه یاد شده تعلق دارند. توده‌های نفوذی در این محدوده دارای ترکیب گرانیت تا دیوریت- گابرو با سن بعد از کرتاسه می‌باشند، که در برخی نقاط در نتیجه عملکرد فرآیندهای تکتونیکی به صورت گرانیت دگرشکل شده در آمده و فابریک میلونیتی در آن قابل مشاهده است. در این محدوده ماسه‌سنگ نیز مشاهده می‌شود که مرفولوژی خشن داشته و در ارتفاعات ستیغ‌هایی را تشکیل می‌دهد. (افتخارنژاد، ۱۳۵۲).(شکل۲)

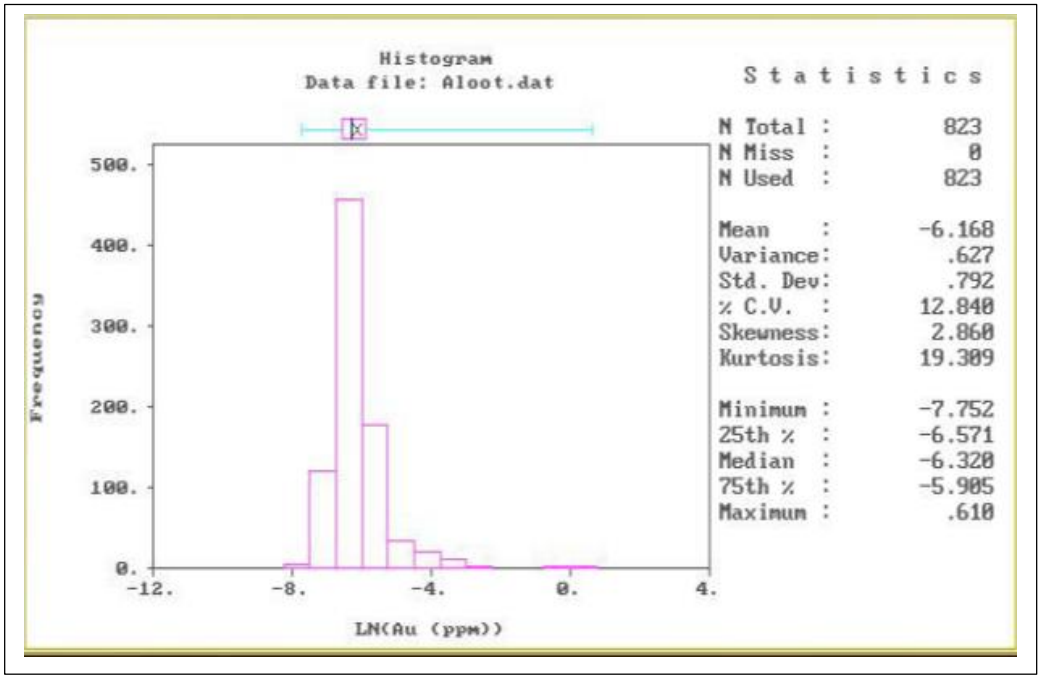
نمونه برداری

به منظور تشخیص آنومالی‌های واقعی و تمییز انواعی که به نهشته‌های کانساری مرتبط می‌باشند، از سایر انواع آن لازم است تا جزء ثابتی از رسوبات آبراهه‌ای (برای مثال جزء ۸۰- مش) و یا کانی سنگین (جزء ۲۰۰- مش) مورد آزمایش قرار گیرد. به طور کلی چگالی نمونه‌برداری از رسوبات آبراهه‌ای، تابع دانسیته آبراهه‌ها در حوضه‌ی آبریز است (Howarth and Sinding-Larson, 1983).

برای مناطق معتدل مانند منطقه‌ی مورد مطالعه این مقدار می‌تواند یک نمونه برای هر یک تا چند کیلومترمربع در نظر گرفته شود. در این پروژه، با توجه به تعداد متوسط ۸۰۰ نمونه، برای استفاده‌ی بهینه از داده‌های حاصل از هر نمونه سعی شده است تا توزیع نمونه‌ها حتی‌الامکان به روش مرکز ثقل حوضه‌های آبریز باشد. شبکه نمونه برداری به صورت مستطیلی و در ابعاد تقریبی ۵۸ در ۴۷ کیلومتر می-باشد. پرواضح است که شبکه به صورت غیر سیستماتیک خواهد بود که به صورت نقشه در شکل ۳ نشان داده شده است. در این تحقیق تعداد ۲۰ عنصر به وسیله ۸۲۴ نمونه مورد آنالیز قرار گرفته است که نتایج حاصل از این آنالیزها از سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور تهیه شده است. در ابتدای کار با بررسی کل نمونه‌ها، هیچ موردی در خصوص داده‌های سنسورد یافت نشده و لذا همه داده‌های اولیه به همان صورت موجود، در انجام تحلیل‌ها مورد استفاده قرار گرفته است.



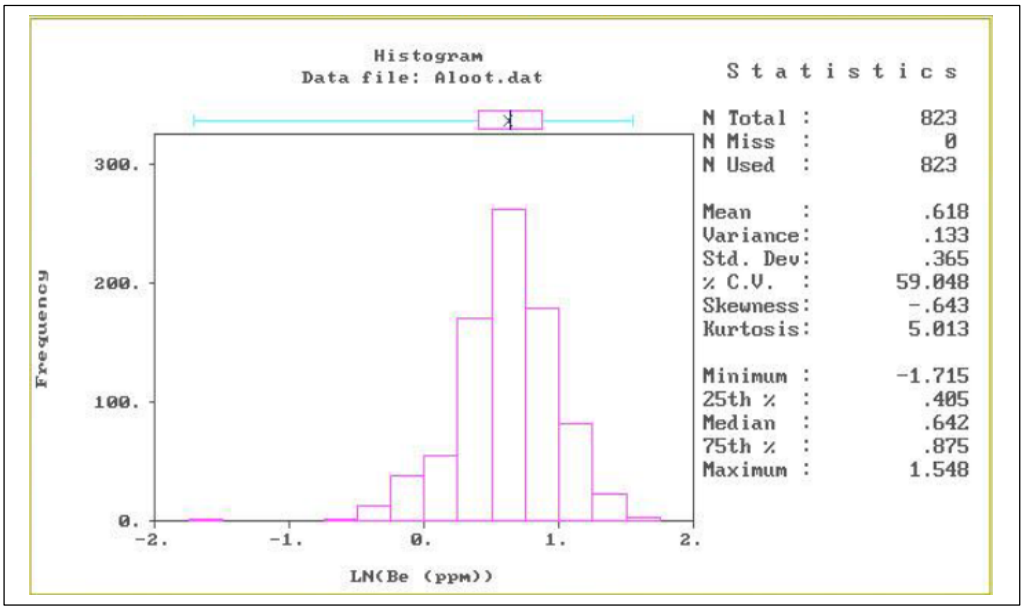
شکل ۲- آبراهه های محدوده مطالعاتی و نقاط نمونه برداری



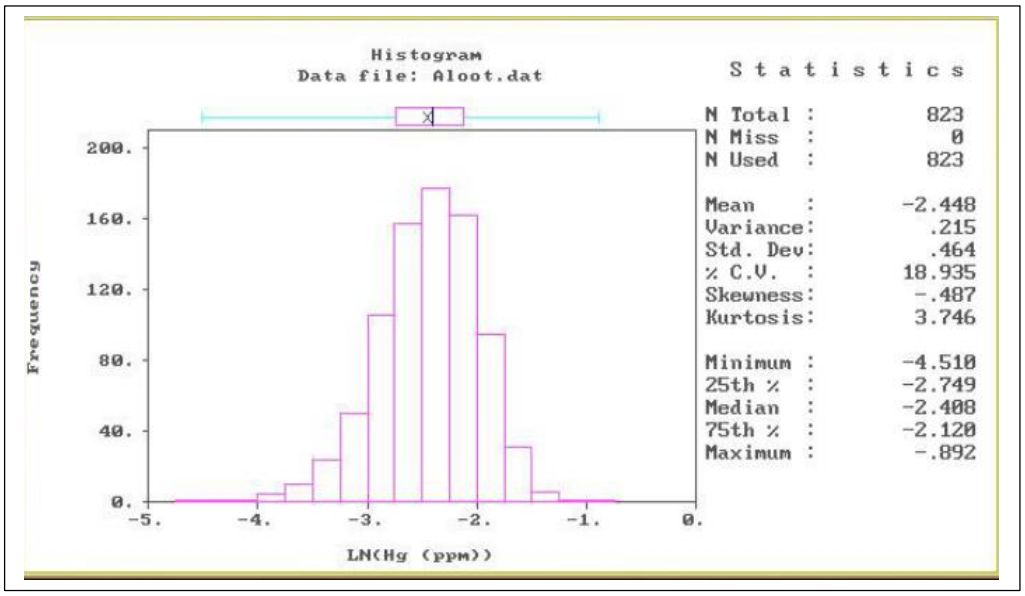
شکل ۳ الف- هسیتوگرام الگاریتمی طلا

بررسی های آماری تک متغیره

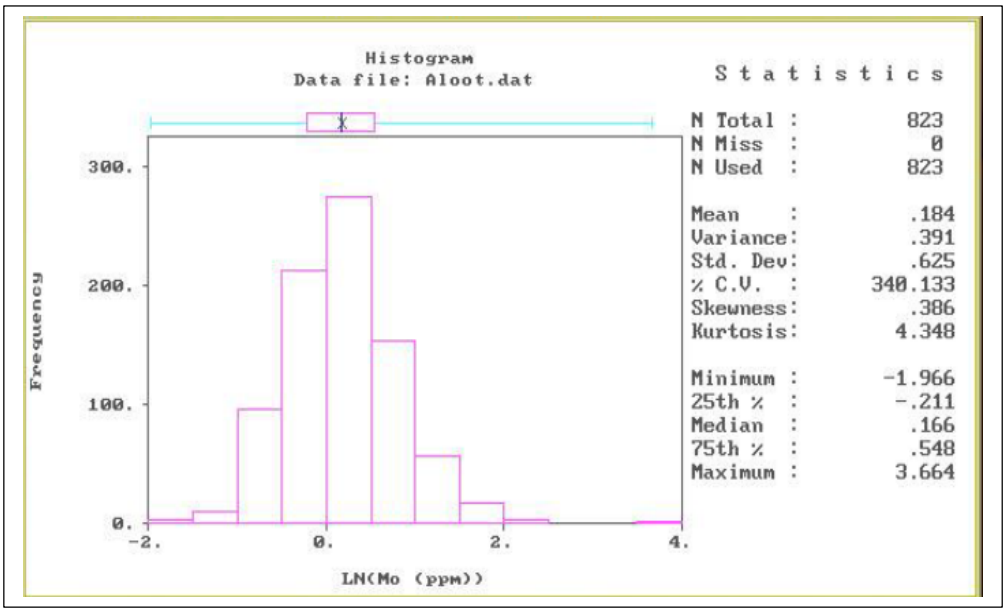
در این مرحله با توجه به تعیین ماهیت نرمال یا لاگ‌نرمال هر عنصر، پارامترهای آماری دقیق‌تری برای عناصر به دست می‌آید که بر اساس آن می توان یک دید کلی در خصوص عناصر به دست آورد. برای داشتن یک دید مناسب از مقادیر به دست آمده از آنالیزها، لازم است تا مقادیر زمینه جهانی برای رسوبات آبراهه ای، هرکدام از عناصر را داشته باشیم. با توجه به اینکه این مقادیر برای رسوبات رودخانه‌ای موجود نمی‌باشد لذا می-توان از مقادیر زمینه عناصر در خاک‌ها به عنوان بهترین جایگزین استفاده نمود. بر همین اساس یک مقدار به عنوان مقادیر زمینه نیز در نظر گرفته شده است (Levinson, 1980). با مقایسه مقادیر ماکزیمم هر یک از عناصر با میزان زمینه جهانی رسوبات آبراهه ای، به عنوان یک بررسی اولیه می‌توان عناصر Au, As, Sn, Ni, Hg, Mo, Ag, Be, Zn را به عنوان عناصر با اهمیت در نظر داشت. در ادامه نرمال و یا لاگ‌نرمال بودن عناصر مورد ارزیابی قرار گرفت که در این بین تنها عنصر مس بود که هیستوگرام اولیه آن به صورت نرمال بوده و بقیه عناصر به صورت لاگ نرمال می‌باشند. پس از این بررسی اولیه در مرحله بعد هیستوگرام و نمودار احتمال مقادیر لگاریتمی هر یک از عناصر، تهیه گردید. هیستوگرام‌ها در شکل (۴ الف) تا (۴ ه) و نمودارهای احتمال مقادیر لگاریتمی عناصر با اهمیت در شکل (۵ الف) تا (۵ ه) نشان داده شده است. بر اساس این نمودارها می‌توان با اهمیت بودن عناصری مانند Au, Hg و Sn را تشخیص داد.



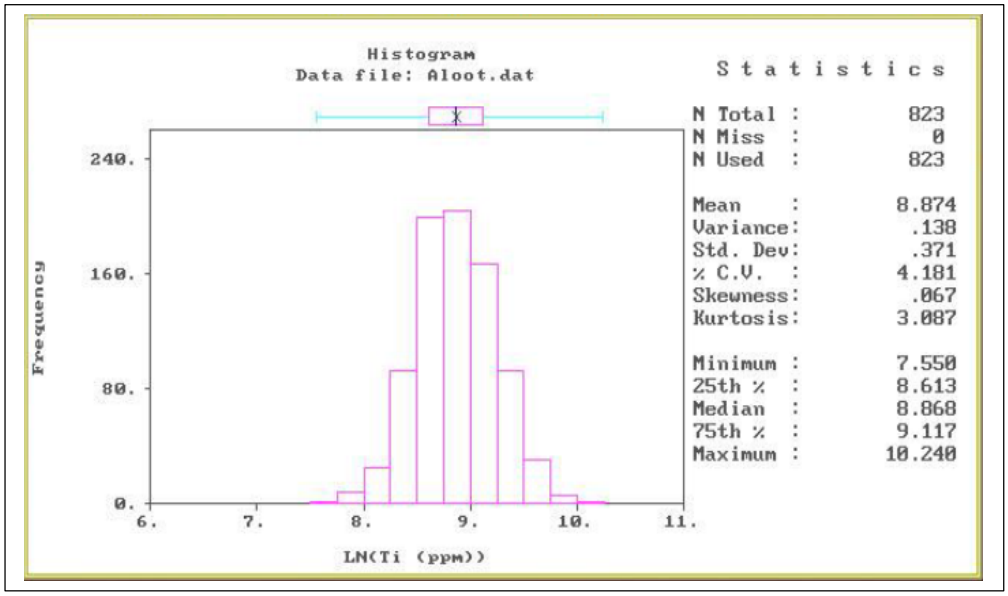
شکل ۳ ب- هیستوگرام لگاریتمی برلیم



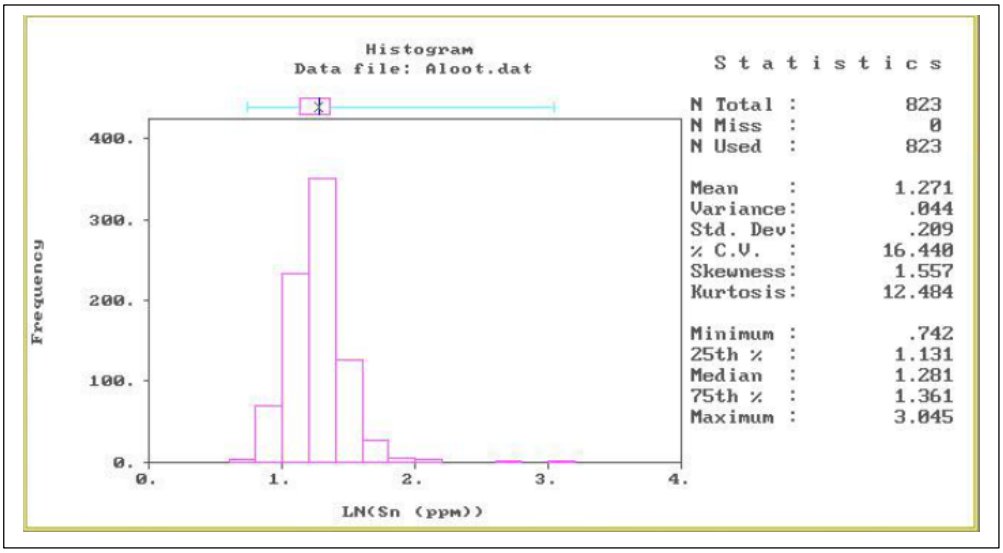
شکل ۳ ج- هیستوگرام لگاریتمی جیوه



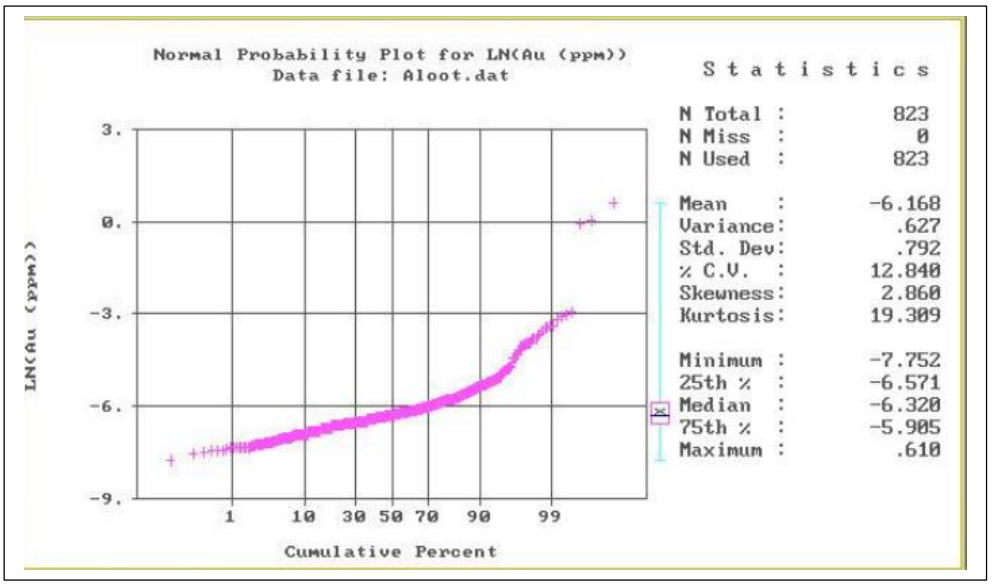
شکل ۳ د- هیستوگرام لگاریتمی مولیبدن



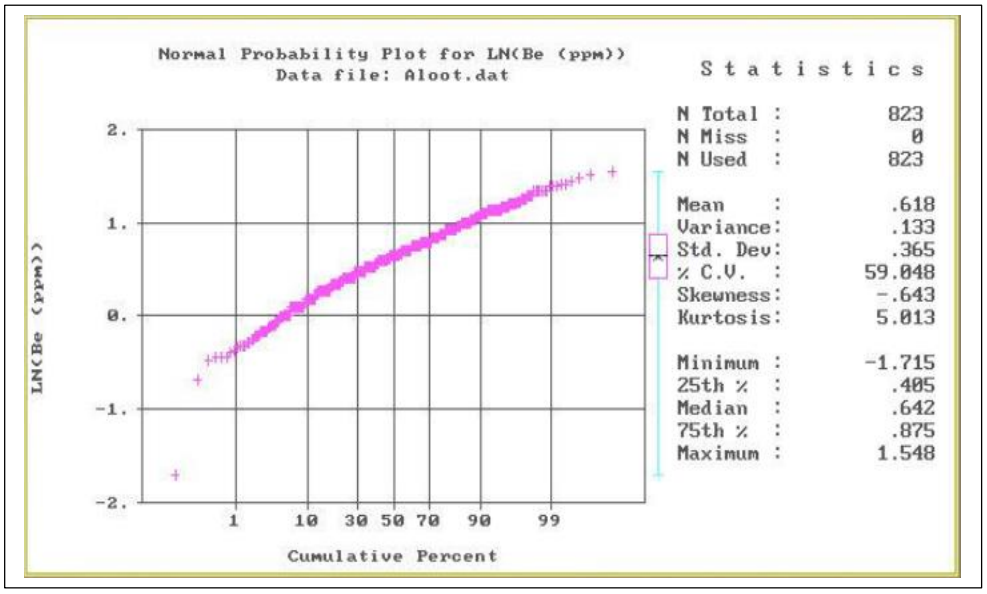
شکل ۳ و- هیستوگرام لگاریتمی تیتان



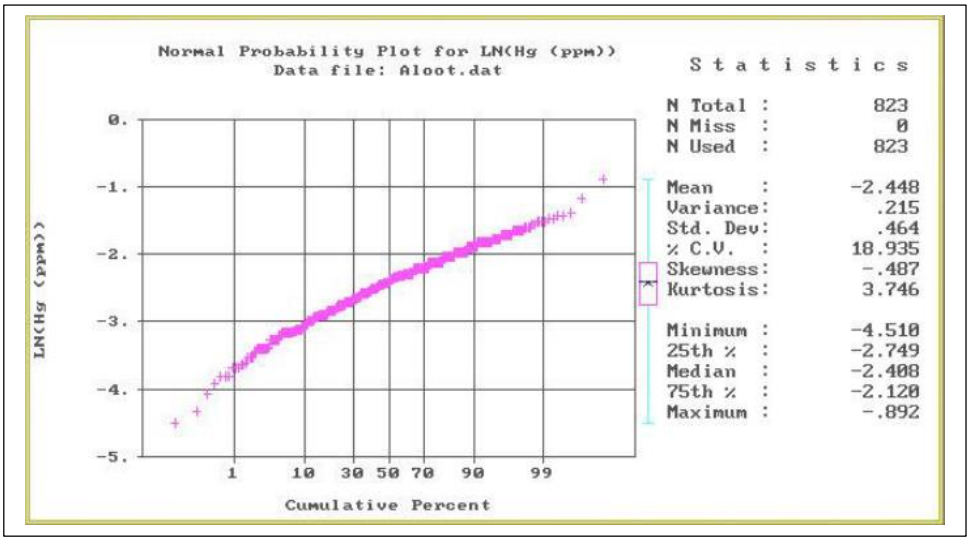
شکل ۳ ه- هیستوگرام لگاریتمی قلع



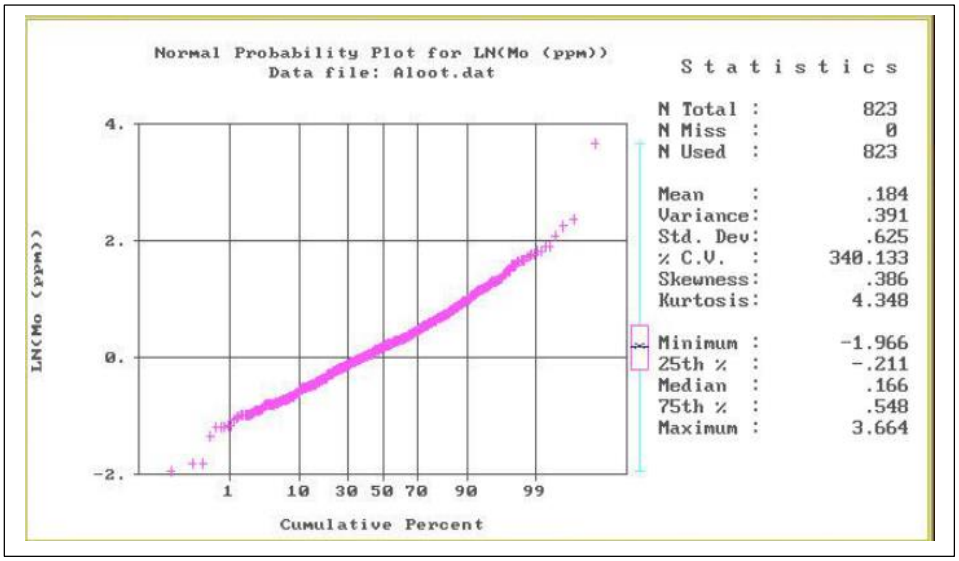
شکل ۴ الف- نمودار احتمال مقادیر لگاریتمی طلا



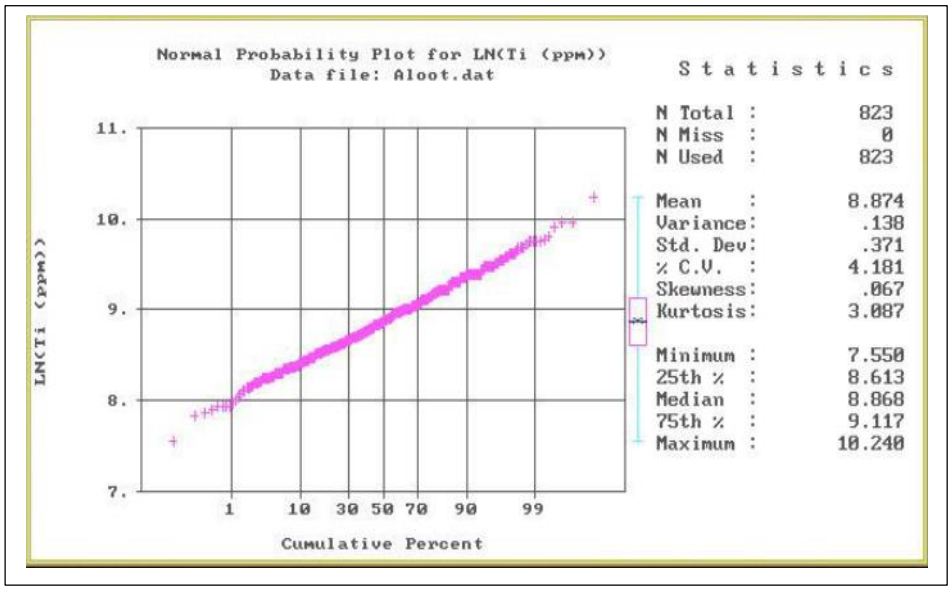
شکل ۴ ب- نمودار احتمال مقادیر لگاریتمی برلیم



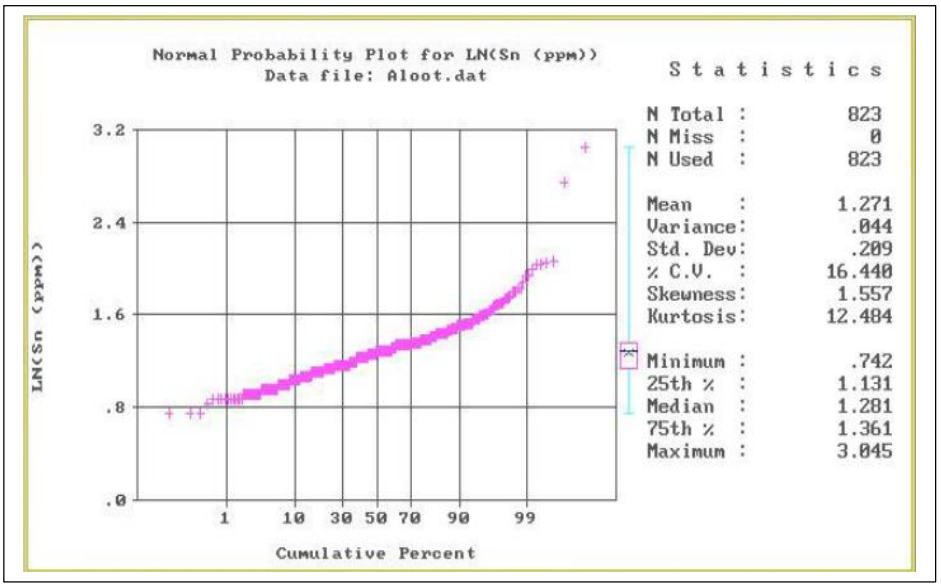
شکل ۴ ج- نمودار احتمال مقادیر لگاریتمی جیوه



شکل ۴ د- نمودار احتمال مقادیر لگاریتمی مولیبدن



شکل۴ و- نمودار احتمال مقادیر لگاریتمی تیتان



شکل ۴ ه) نمودار احتمال مقادیر لگاریتمی قلع

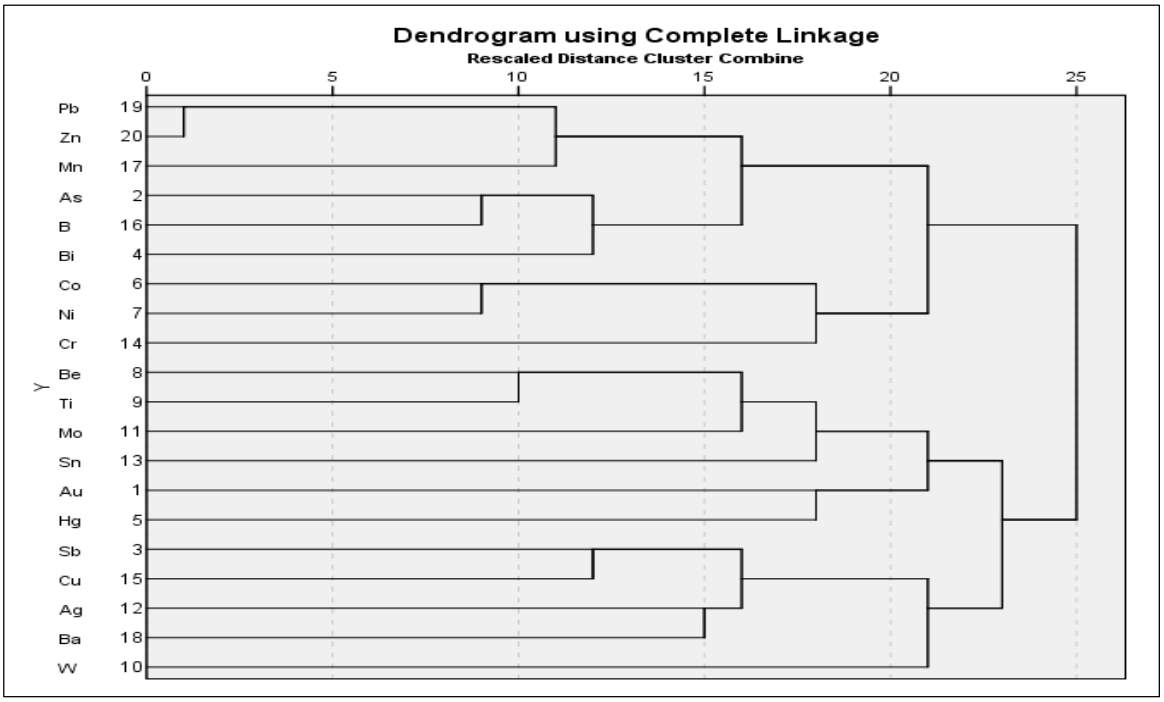
بررسی‌های آماری چند متغیره

در این تحقیق روش‌های آنالیز خوشه‌ای و مؤلفه‌های اصلی انجام گرفت چرا که نتایج حاصل از این روش‌ها می‌تواند به نوعی مکمل همدیگر برای تصمیم‌گیری هرچه بهتر در ارزیابی عناصر باشد.

آنالیز خوشه‌ای (کلاستر): در این روش، هدف یافتن ملاکی برای طبقه بندی هرچه مناسب‌تر متغیرها و یا مؤلفه‌ها بر اساس تشابه هرچه بیشتر درون گروهی و یا اختلاف هرچه بیشتر بین گروهی است (حسنی پاک و شرف الدین، ۱۳۹۰).

با روش‌های مختلف آنالیز خوشه‌ای بر روی داده‌ها انجام گرفت که در این بین، روش دورترین همسایگی نتایج بهتری را ارائه داده که تصویر حاصل از این روش در شکل ۶ آورده شده است. نتایج حاصل از این تحلیل بیانگر همبستگی بالای عناصر Be، Ti، Sn، Mo، Au و Hg می‌باشد که نتایج حاصل از بررسی‌های اولیه را تا حدود زیادی تأئید می‌کند. عنصر Ag نیز در درجه‌ی بعدی و با همبستگی کمتر با طلا در ارتباط است. در این بین عدم همبستگی عنصر نیکل و آرسنیک با طلا قابل مشاهده می‌باشد که این قضیه در ادامه و در نتایج بررسی‌های بعدی نیز قابل استنباط است.(شکل۶)

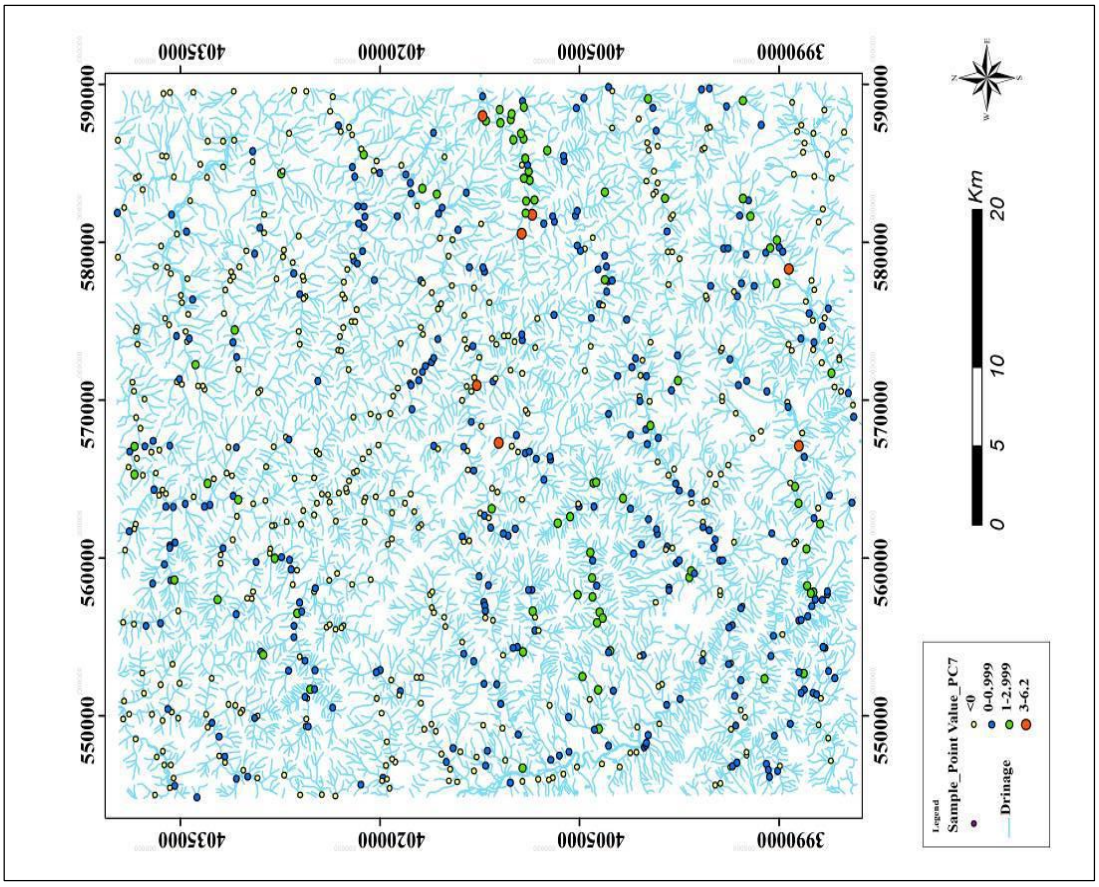
آنالیز مؤلفه‌های اصلی: برای تعریف و شناسایی مؤلفه‌های با اهمیت، به نحوی که حداکثر تغییر پذیری را بتوان تعریف کرد آنالیز مؤلفه‌های اصلی انجام گرفت که بر اساس مقادیر ویژه، ۸ مؤلفه اصلی به دست آمد که در کل ۶۳ درصد تغییرپذیری را توجیه می‌کند. با توجه به اینکه مقادیر دوران یافته، تغییرپذیری را بهتر نشان می‌دهند لذا ماتریس دوران یافته حاصل از آنالیز مؤلفه‌های اصلی تهیه گردید که مقادیر مختلف این ۸ مؤلفه به صورت دوران یافته در جدول ۳ آورده شده است. با توجه به مقادیر به دست آمده، مؤلفه-هایی که در آن‌ها هر عنصر بیشترین مقدار را داشته باشد، آن مؤلفه به عنوان بهترین بازگو کننده مناطق عیار بالای هر عنصر خواهد بود با توجه به اینکه مقادیر عنصر طلا و جیوه در مؤلفه ۷ و مقادیر عناصر برلیم، تیتان و مولیبدن در مؤلفه ۳ دارای بیشترین مقدار خود هستند لذا بر همین اساس نقشه مربوط به مؤلفه‌های ۷ و ۳ تهیه گردید که در اشکال ۷ و ۸ آورده شده است. بر اساس این نقشه‌ها می‌توان مناطقی را که در آن عناصر با اهمیت عیار بالاتری دارند را شناسایی نمود. در نتیجه با مراجعه و دقت در این نقشه‌ها می‌توان مناطق عیار بالای عناصر طلا، جیوه، برلیم، تیتان و مولیبدن را مشاهده نمود (نقاط قرمز رنگ). نمودار اسکری پلات عناصر نیز در شکل ۹ نشان داده شده است.(جدول۱)



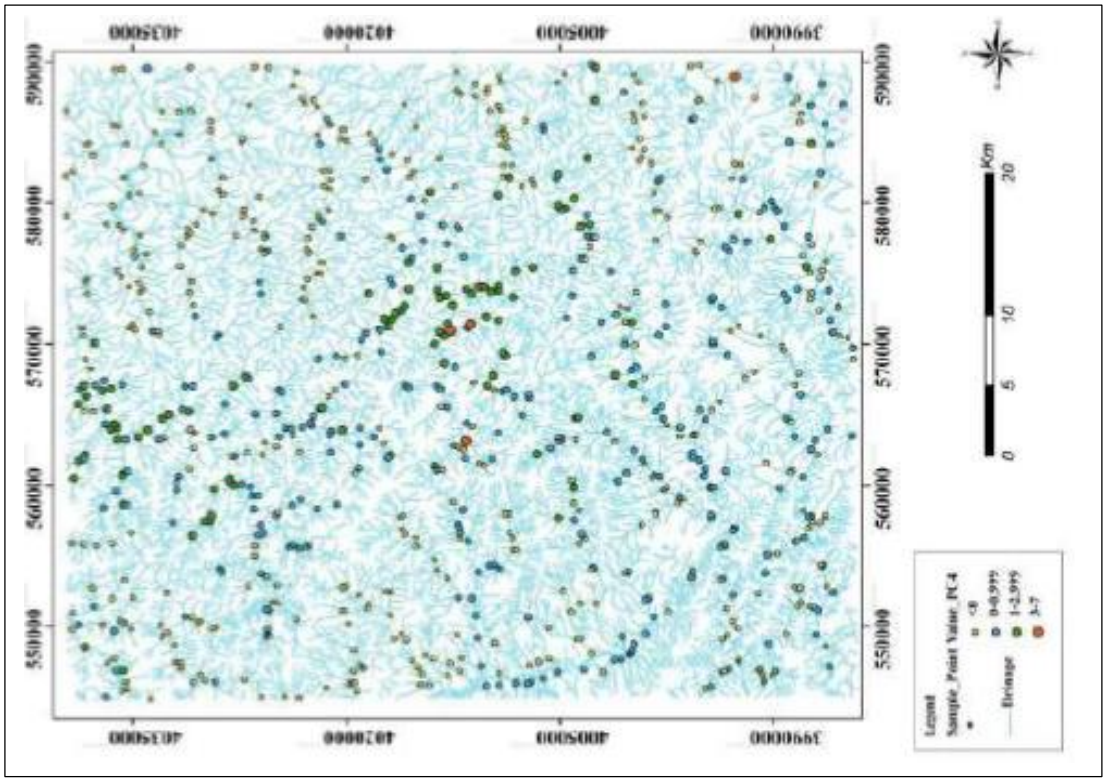
شکل ۵- دندوگرام تحلیل خوشه‌ای داده‌های محدوده مورد مطالعه

جدول ۱- ماتریس مؤلفه‌های دوران یافته حاصل از آنالیز مؤلفه‌های اصلی

ماتریس مؤلفه‌های دوران یافته								
	مؤلفه استخراج شده							
	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸
Au	-۰/۵۶	-۰/۰۳۱	۰/۰۶۲	۰/۲۷۹	-۰/۲۹۳	۰/۱۸۱	۰/۳۳۱	-۰/۲۱۰
As	۰/۵۸۶	۰/۰۶۳	-۰/۰۰۶	۰/۳۹۴	-۰/۰۰۵	-۰/۰۶۹	۰/۲۴۰	-۰/۱۴۰
Sb	۰/۱۱۵	۰/۲۰۸	۰/۲۲۰	۰/۶۶۳	-۰/۰۳۶	-۰/۱۴۸	۰/۱۹۸	۰/۰۱۱
Bi	۰/۶۰۷	۰/۰۴۳	۰/۱۷۰	-۰/۱۵۵	۰/۲۵۶	-۰/۱۴۲	۰/۰۱۵	-۰/۰۱۷
Hg	۰/۰۵۹	-۰/۰۱۲	۰/۰۷۲	۰/۰۷۳	-۰/۰۳۵	-۰/۰۶۶	۰/۷۶۷	۰/۰۸۸
Co	۰/۴۵۱	۰/۲۹۹	۰/۰۵۰	۰/۱۵۷	۰/۴۸۴	۰/۱۷۳	۰/۱۶۴	۰/۰۹۴
Ni	۰/۰۴۳	۰/۰۱۱	-۰/۰۱۲	۰/۱۰۹	۰/۸۳۹	۰/۲۰۰	-۰/۰۵۰	-۰/۰۸۳
Be	۰/۳۰۹	-۰/۱۹۶	۰/۷۳۶	-۰/۰۸۱	-۰/۰۱۵	-۰/۱۱۱	-۰/۱۱۷	۰/۰۲۱
Ti	۰/۰۶۷	۰/۰۷۳	۰/۶۶۹	۰/۰۵۴	-۰/۱۷۹	۰/۳۶۷	۰/۱۱۵	-۰/۱۰۶
W	-۰/۰۳۱	-۰/۰۴۴	-۰/۰۲۷	۰/۰۹۱	-۰/۰۴۰	۰/۰۷۷	۰/۰۴۲	۰/۹۲۱
Mo	-۰/۲۲۳	۰/۰۴۲	۰/۵۹۴	۰/۲۰۵	۰/۱۹۰	-۰/۱۹۶	۰/۰۷۹	۰/۰۱۲
Ag	-۰/۱۵۹	۰/۷۶۲	-۰/۰۳۲	۰/۱۲۷	۰/۱۰۶	-۰/۰۶۹	-۰/۰۴۳	-۰/۰۳۱
Sn	۰/۱۵۶	۰/۳۶۰	۰/۳۲۹	-۰/۴۳۲	۰/۰۵۰	-۰/۱۴۴	۰/۲۹۳	۰/۲۰۰
Cr	-۰/۰۸۵	-۰/۰۲۳	۰/۰۲۵	-۰/۰۰۳	۰/۱۴۸	۰/۷۷۰	-۰/۰۲۴	۰/۱۰۲
Cu	۰/۱۶۰	۰/۰۸۸	-۰/۰۲۳	۰/۶۷۲	۰/۲۵۱	۰/۰۶۲	-۰/۰۸۵	۰/۱۹۳
B	۰/۷۷۲	-۰/۱۲۳	۰/۰۵۳	۰/۲۱۴	-۰/۰۶۲	۰/۰۴۶	-۰/۰۸۷	۰/۰۸۵
Mn	۰/۴۳۰	۰/۱۳۲	-۰/۲۴۹	-۰/۰۹۵	۰/۱۸۴	۰/۵۰۴	-۰/۰۲۵	-۰/۰۷۰
Ba	۰/۱۲۴	۰/۳۷۶	۰/۲۸۱	۰/۲۶۲	-۰/۱۸۷	-۰/۰۸۳	-۰/۴۶۹	۰/۱۲۲
Pb	۰/۶۱۸	۰/۵۷۶	۰/۰۵۹	۰/۰۱۹	-۰/۰۲۶	۰/۱۰۲	-۰/۰۱۳	-۰/۰۰۸
Zn	۰/۴۶۵	۰/۶۲۳	-۰/۱۸۹	۰/۰۷۰	۰/۰۱۱	۰/۲۲۷	-۰/۰۷۷	-۰/۰۹۴

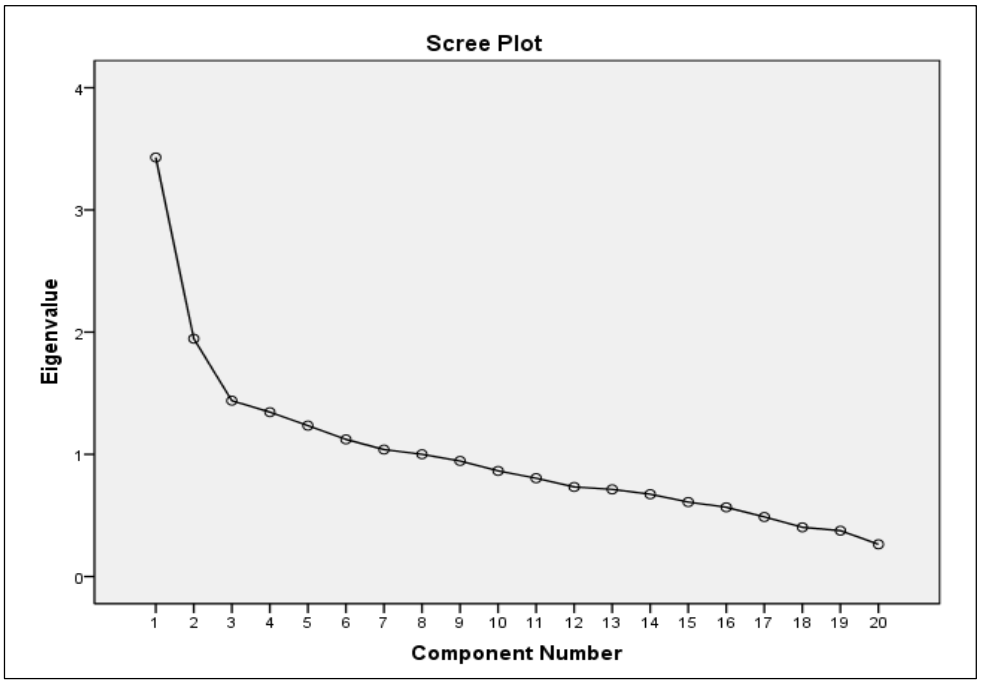


شکل ۶- نقشه حاصل از مؤلفه اصلی ۷



شکل ۷- نقشه حاصل از مؤلفه اصلی ۳

نمودار اسکری پلات، تغییرات مقادیر ویژه را در ارتباط با عامل ها نشان می دهد. این نمودار برای تعیین تعداد بهینه مؤلفه‌ها به کار می‌رود. با توجه به این نمودار مشاهده می شود که از عامل سوم به بعد تغییرات مقدار ویژه کم می‌شود، پس می‌توان سه عامل را به عنوان عوامل مهم که بیشترین نقش را در تبیین واریانس داده‌ها دارند، استخراج کرد.



شکل ۸-نمودار اسکری پلات عناصر

مدل‌گذاری نمودار احتمال: جهت برآورد رفتار عنصر طلا در منطقه و همچنین تفکیک مقادیر زمینه و آنومالی، از نمودار احتمال استفاده گردید که تصویر نتیجه حاصل در شکل ۱۰ آورده شده است. نمودار احتمال داده‌های طلا در منطقه بیانگر قاطی شدگی چند زیرجامعه در بین داده‌ها می‌باشد. سه روند یا زیر جامعه برای داده‌ها در این شکل قابل شناسایی است که هریک از این زیرجوامع روند تغییرات خود را با تغییر شیب از زیر جامعه قبلی و بعدی تفکیک کرده است که این زیر جوامع می‌توانند شامل زیر جامعه زمینه با کد صفر، زیرجامعه گذر از زمینه به آنومالی با کد یک و در نهایت جامعه آنومالی با کد دو باشد. بر اساس مدل‌سازی صورت گرفته بر روی داده‌ها، اختصاصات آماری هر یک از این زیرجوامع به صورت مجزا محاسبه گردیده است و نتایج این محاسبات منجر به تعیین حد و مرز هر زیر جامعه و درصد سهم هر زیر جامعه از کل داده‌ها است که در جدول ۲ آورده شده است. **آنالیز تمایز**: این روش، ابزاری است برای سنجش میزان وابستگی و ارتباط یک نمونه با یکی از جوامع مشخص و معلوم که در این روش لازم است جوامع مورد نظر از قبل معلوم باشند و یا حداقل تعریف شده باشند. در روش آنالیز تمایز متغیرهای مستقل نقش تخمین‌گر را بازی می‌کنند و متغیرهای وابسته تشکیل گروه‌ها را می‌دهند (حسنی پاک، ۱۳۸۰).

بر اساس آنالیز تمایز صورت گرفته برای عنصر طلا، حدود ۸۲ درصد نمونه‌های جامعه اول، ۶۳ درصد جامعه دوم و ۱۰۰ درصد جامعه سوم درست کلاس بندی شده‌اند که در کل ۸۰ درصد این نمونه‌ها به صورت صحیح کلاس بندی شده‌اند. نتایج مربوط به تفکیک جوامع و اعتبارسنجی در جدول ۳ نشان داده شده است.

در نهایت جهت برآورد رفتار و همبستگی عناصر با اهمیت، بر اساس مؤلفه‌های حاصله، با در نظر گرفتن عنصر طلا به عنوان پارامتر وابسته، نمودار دو بعدی در محیط اکسل تهیه گردید . جدایی و فاصله آرسنیک تایید کننده رفتار متضاد آن با طلا می‌باشد. به علاوه این نمودار پاراژنز بودن طلا با عناصر جیوه، قلع، برلیم، تیتان، مولیبدن و نیکل را تأیید می‌کند. بر اساس نتایج حاصل از مدلسازی نمودار احتمال، جامعه آنومالی عنصر طلا حدود ۹ درصد از کل داده‌ها را شامل می‌شود که با بررسی این مقادیر بر روی نقشه پراکندگی عیار عنصر طلا، می‌توان موقعیت مکانی این آنومالی ها را مشخص نمود. در این نقشه در شکل ۱۲ نمایش داده شده است که بر اساس آن سه بخش از منطقه به عنوان مناطق امید بخش و با پتانسیل بالای کانه زایی طلا معرفی می‌گردد که این مناطق بر روی نقشه مشخص شده‌اند.

جدول ۲- مقادیر هریک از زیر جامعه‌های عنصر طلا

جامعه	میانگین	درصد	حدود آستانه ای	
۱ (کد ۰)	۰/۰۰۲	۶۱/۴۵	۰/۰۰۳	۰/۰۰۱
۲ (کد ۱)	۰/۰۰۳	۲۹/۵۲	۰/۰۰۶	۰/۰۰۲
۳ (کد ۲)	۰/۰۰۹	۹/۰۳	۰/۱۵۳	۰/۰۰۴

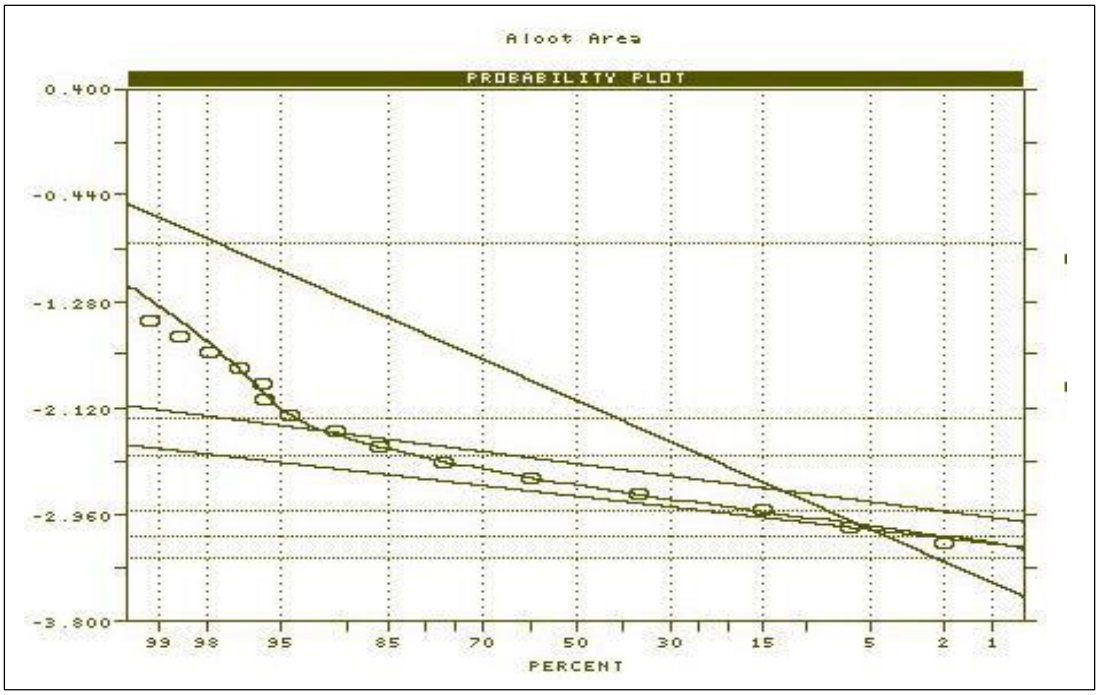
جدول ۳- نتایج کلاس‌بندی و اعتبارسنجی آن

Classification Results[b,c]

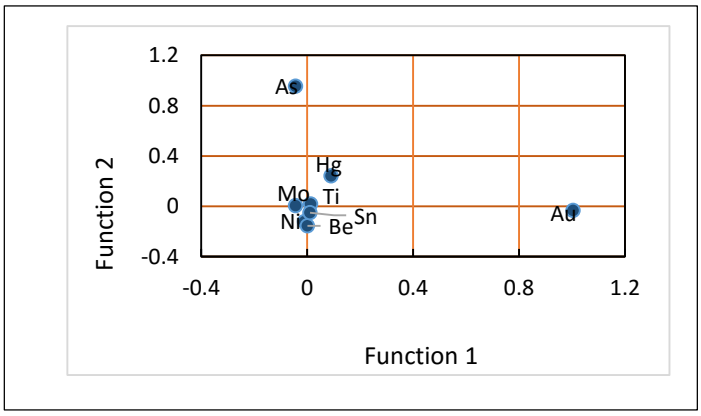
		G_Au	Predicted Group Membership			Total
			1.00	2.00	3.00	
Original	Count	1.00	627	141	0	768
		2.00	22	29	0	51
		3.00	0	0	3	3
	%	1.00	81.6	18.4	.0	100.0
		2.00	43.1	56.9	.0	100.0
		3.00	.0	.0	100.0	100.0
Cross-validated	Count	1.00	620	148	0	768
		2.00	26	25	0	51
		3.00	0	0	3	3
	%	1.00	80.7	19.3	.0	100.0
		2.00	51.0	49.0	.0	100.0
		3.00	.0	.0	100.0	100.0

b. 80.2% of original grouped cases correctly classified.

c. 78.8% of cross-validated grouped cases correctly classified.



شکل ۹- نمودار احتمال عنصر طلا



شکل ۱۰- رفتار عناصر در فضای متعامد (طلا عنصر وابسته)

نتیجه گیری

با بررسی و مقایسه نتایج بدست آمده با زمین‌شناسی منطقه، می‌توان دریافت که سنگ میزبان کانی‌سازی را سنگ‌های شیست سبز تا خاکستری رنگ و اسلیت‌های نازک لایه خاکستری تیره تشکیل می‌دهند که اغلب کانی‌سازی طلا در همبری این دو لایه اتفاق افتاده است. بررسی داده‌های حاصل از رسوبات آبراهه‌ای منطقه و تجزیه و تحلیل‌های آماری چند متغیره، نشان دهنده هم‌پاراژنز بودن عناصر طلا ، قلع، جیوه و مولیبدن و تیتان در کانی‌زایی طلای تیپ کوهزایی در مقیاس ناحیه‌ای می‌باشد. در این بین مقایسه نتایج حاصل از بررسی‌های کانی سنگین می‌تواند راهنمای بسیار خوبی در خصوص ارزیابی وضعیت کانی‌سازی منطقه باشد. با توجه به روش‌های آماری چند متغیره صورت گرفته بر روی داده‌ها، همبستگی خوبی بین عناصر طلا، مولیبدن، جیوه، قلع و تیتان دیده می‌شود که می‌تواند راهنمای اکتشافی بسیار خوبی برای ادامه روند مطالعات باشد. با توجه به رفتار آرسنیک و تغییرات کم در این عنصر، تحقیقات بیشتر در خصوص ویژگی‌های این عنصر ضروری به نظر می‌رسد. بر اساس نقشه نهایی حاصله در این تحقیق که سه بخش به عنوان مناطق عیار بالای طلا معرفی شده است لذا پیشنهاد می‌گرد تا این مناطق با دقت بیشتری مورد ارزیابی قرار گرفته و جهت حفاری‌های احتمالی در اولویت قرار بگیرند.

منابع

-**فتخارنژاد، ج، (۱۳۵۲)**، "نقشه زمین‌شناسی چهارگوش مهاباد با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰"، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

-**بدخشان ممتاز، ق. (۱۳۸۸)**، "گزارش اکتشافات عمومی طلا در منطقه میرگه نقشینه"، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

-**حسنی پاک، ع، شرف الدین، م. (۱۳۹۰)**، "تحلیل داده‌های اکتشافی"، چاپ سوم، تهران، انتشارات دانشگاه تهران.

-**حسنی‌پاک، ع، (۱۳۸۷)**، "اصول اکتشافات ژئوشیمیایی"، چاپ ششم، تهران، انتشارات دانشگاه تهران.

-**حسنی‌پاک، ع، (۱۳۷۸)**، "گزارش اکتشافات ژئوشیمیایی سیستماتیک در محدوده برگه ۱:۱۰۰۰۰۰ آلوت"، سازمان صنایع و معادن استان کردستان.

-**قوامی ریابی، ر، سید رحیمی، م، خالو کاکایی، ر، هزاره، م، (۱۳۸۹)**، "رفتار و اختصاصات ژئوشیمیایی مناطق کانی سازی طلای پهنه‌های برشی کردستان." نشریه علمی-پژوهشی مهندسی معدن، دوره پنجم شماره نهم سال ۸۹.

-**محمدزاده، م.ج، شهین‌فر، ح، ناصری، آ، (۱۳۹۰)**، "توصیف الگوهای ژئوشیمیایی با استفاده از روش‌های تحلیل مؤلفه‌های اصلی و کلاستر فازی میان مرکز (FCMC) برای ثبت بی‌هنجاری‌های ضعیف (منطقه قولان- آذربایجان شرقی)"، مجله علوم زمین، شماره۸۱ ص۱۴۳- ۱۵۰.

-**مقصودی، ع، رحمانی، م، رشیدی، ب، (۱۳۸۴)**، "کانسارها و نشانه‌های معدنی طلا در ایران"، مرکز پژوهشی زمین‌شناسی پارس (آرین زمین)، تهران.۲۱۳ص.

-**هندی، ر، (۱۳۸۲)**، "گزارش مطالعات ژئوشیمیایی در مناطق طلادار آلوت"، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.۱۶۵ص.

-Carranza, E. J. M., (2009). "Geochemical anomaly and mineral prospectivity mapping in GIS". Elsevier, P.1.

-Cooley, W.W. P. R. Lohnes, (1971), "Multivariate Data Analysis", John Wiley & Sons Inc.

-Du, Q. and Flower, E. J., (2008). "Low-Complexity principal component analysis for Hyperspectral image compression. International Journal of High performance Computing Aplications", PP. 438-448.

-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(6), 837-850.

-Howarth, R. J. Sinding-Larson, R., (1983). "Statistic and Data Analysis in Geochemical prospecting". Handbook of exploration Geochemistry, Amesterdam, 2: 207-289.

-Klecka, William R., (1980), "Discriminant Analysis" (Quantitative Applications in the Social Sciences Series , No. 19, Thousand Oaks CA: Sage Publications.

-Levinson, A. A. (1980). "Introduction to exploration geochemistry". Applied Publishing, Limited

-Robert, R., G., Grunsky, E.C., (2001), "Weighted sums-knowledge based 34empirical indices for use in exploration geochemistry". Geochemistry: Exploration, Environment, Analysis, 1: 135-141.

-Shokouh Saljoughi, B., Hezarkhani, A. (2019), "Identification of geochemical anomalies associated with Cu mineralization by applying spectrum-area multi-fractal and wavelet neural network methods in Shahr-e-Babak mining area", Kerman, Iran. Journal of Mining and Environment, 10(1), 49-73.

Geochemical studies of stream sediment to determine the shear zone-related gold mineralization (Case study of Alut area in Kurdistan province)

Fardin Ahmadi[1], Mahyadin Mohamadpour[2]

1- PhD Student in mining exploration, Department of Mining Engineering, Shahrood University of Technology

2- PhD Student in mining exploration, Department of Mining Engineering, Tehran University

Abstract

Geochemical studies of stream sediments are one of the most common methods in mineral exploration, specifically used for gold prospecting. In this study, the univariate statistical parameters, such as the comparison of the maximum and minimum of each element with the background were used in order to identify the Influential elements. Then histogram and probability diagram were prepared. Subsequently influential components and Elements that are closely linked together, were identified using multivariate statistical methods such as Principal Component Analysis. These analyses indicate that six elements (including Au, Hg, Be, Mo, Ti, and Sn) are more important than others. The components of 3 and 7 as influential components were identified and these components were mapped. In the next step, the model of influential elements was creating on a logarithmic scale. The result of the modeling indicates that 80% of classification is correct. Subsequently, the gold-element data were divided into three sub-communities including background (code 0), the Community of background to the anomaly (code 1), and the anomaly-community (code 2). Finally, the gold distribution pattern based on these sub-communities was prepared that three parts of the region were presented as potential areas. For 8 elements the map of discriminant analysis shows that Au and As have opposite treatment.

Key Words: Alut, gold, stream sediment, PCA, discriminant analysis.