

۲-۱- مقدمه

در عملیات اکتشافات ژئوشیمیایی ۱:۱۰۰/۰۰۰، نظر به وسعت محدوده‌ی تحت پوشش، هاله‌های ژئوشیمیایی ثانویه مورد بررسی قرار می‌گیرند. اکثر این مطالعات به نحوه‌ی توزیع عناصر در هاله‌های ثانویه‌ی سطحی مانند رسوبات رودخانه‌ای، آبرفت‌ها، یخرفت‌ها و خاک بستگی دارد. هدف از نمونه‌برداری و سایر عملیات‌های اکتشافی در این مقیاس، کشف تمرکزهای غیرعادی از عناصر مرتبط با کانی‌سازی احتمالی در محیط‌های ثانویه‌ی حاصل از فرسایش خواهد بود. در این خصوص هر چه هاله‌ی ثانویه وسیع‌تر و به هاله‌ی اولیه نزدیک‌تر باشد و یا الگوی توزیع آن همبستگی ژنتیکی و انطباق فضایی بیشتری را نسبت به هاله‌ی اولیه نشان دهد از ارزش اکتشافی بالاتری برخوردار خواهد بود. واضح است که رخدادهای متعددی باعث می‌گردد تا هاله‌ی ثانویه توسعه یافته در نواحی پایین‌دست نقاط کانی‌سازی شده، توزیع دوباره یابد و همبستگی ژنتیکی و انطباق فضایی مورد نظر مغشوش شود. این نوع اغتشاشات کار تفسیر هاله‌های ثانویه را در جهت تعیین هر چه دقیق‌تر منشأ دشوار ساخته و از این نظر از ارزش اکتشافی آن‌ها خواهد کاست. به عنوان مثال می‌توان به این موضوع اشاره کرد که روش اکتشافات آبراهه‌ای، رسوبات رودخانه‌هایی که در سنگ بستر حفر شده‌اند از ارزش اکتشافی بالاتری نسبت به رودخانه‌ای که در آبرفت‌ها و یا محیط‌های ثانویه‌ی دیگر حفر گردیده برخوردارند.

همان‌طور که اشاره شد یکی از محیط‌های تحت پوشش اکتشافات ژئوشیمیایی در مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ محیط رسوبات رودخانه‌ای است که تحت شرایط آب و هوایی گوناگون قابل نمونه‌برداری هستند. استفاده از ژئوشیمی رسوبات آبراهه‌ای به مدت بیش از ۵۰ سال نشان داده است که این روش، یک متد مستقل و مفید برای تشخیص نواحی با پتانسیل بالای معدنی می‌باشد. بنیادی‌ترین پیش‌فرض در این روش آن است که یک رسوب آبراهه‌ای معرف محصولات هوازدگی و فرسایش در بالادست محل نمونه‌برداری می‌باشد. به هر ترتیب برداشت و آنالیز سیستماتیک نمونه‌های آبراهه‌ای یک روش معمول در اکتشافات کانساری، هم در مقیاس ناحیه‌ای و هم در عملیات تفصیلی‌تر در اغلب نقاط جهان است. برخی از مزایایی که باعث کارآمدی این روش گردیده است عبارتند از:

وجود شرایط اکسیدان در محیط‌های رودخانه‌ای و آبرفتی که خود موجب تحرک عناصر کانساری و در نتیجه افزایش وسعت هاله‌های آن‌ها می‌گردد.

بزرگی میدان اثر نمونه‌ها

سهولت نمونه‌برداری و آماده‌سازی

در مقابل این مزایا بالا بودن پتانسیل آلودگی برای محیط‌ها، به خصوص در صورت وجود مواد آلی که تفسیر داده‌ها را کمی پیچیده خواهد نمود یک نقص برای این روش اکتشافی محسوب می‌گردد.

متغیرهای مؤثر در تمرکز عناصر در رسوبات رودخانه‌ای زیاد هستند. در حالت کلی نسبت اجزاء آواری و دانه‌بندی آن‌ها، میزان تمرکز مواد کلوئیدی در رسوبات و بالاخره pH و Eh محیط از عمده‌ترین عوامل کنترل‌کننده‌ی تمرکز عناصر می‌باشند.

با توجه به موارد برشمرده، اکتشافات ژئوشیمیایی آبراهه‌ای می‌تواند تا حد زیادی، روشن‌کننده‌ی روند کانی‌سازی و خصوصیات اقتصادی ناحیه‌ی مورد مطالعه باشد. بنابراین، این روش به عنوان اصلی‌ترین لایه اطلاعاتی جهت تشخیص پتانسیل‌های معدنی احتمالی در ورقه‌ی زمین‌شناسی ۱:۱۰۰/۰۰۰ چوپانان مورد استفاده و تجزیه و تحلیل قرار گرفت که شرح فعالیت‌های انجام شده در ادامه خواهد آمد. اما در ورقه‌ی مورد مطالعه فعلی بخش وسیعی از منطقه توسط خاک پوشیده شده که این امر امکان نمونه‌برداری رسوبات آبراهه‌ای را در برخی از قسمت‌ها ناممکن می‌سازد و باعث ایجاد یک خلأ نمونه‌برداری در برخی مناطق خواهد شد.

۲-۲- طراحی شبکه‌ی نمونه‌برداری

در انتخاب و تشخیص نواحی دارای احتمال کانه‌زایی آن‌چه مدنظر است محدود کردن مناطق امیدبخش از چند صد کیلومتر مربع به چند کیلومتر مربع، به وسیله عملیات ژئوشیمیایی و مؤلفه‌های فضایی شناخته شده می‌باشد. از آن‌جا که تکنیک‌های بعد از این مرحله تفصیلی و گران هستند، ضروری است که طراحی و تعیین اهداف مورد نظر و محدود ساختن آن‌ها به مناطق حتی‌الامکان کوچک‌تر، با دقت هرچه تمام‌تر صورت گیرد. برای رسیدن به این مقصود از اطلاعات ذیل بهره گرفته شده است:

نقشه‌ی زمین‌شناسی ۱:۱۰۰/۰۰۰ چوپانان

نقشه‌های توپوگرافی ۱:۵۰/۰۰۰ چوپانان، نوق آباد، نه آباد والله آباد

نقشه‌ی ژئومغناطیس هوایی ۱:۲۵۰/۰۰۰ فرخی

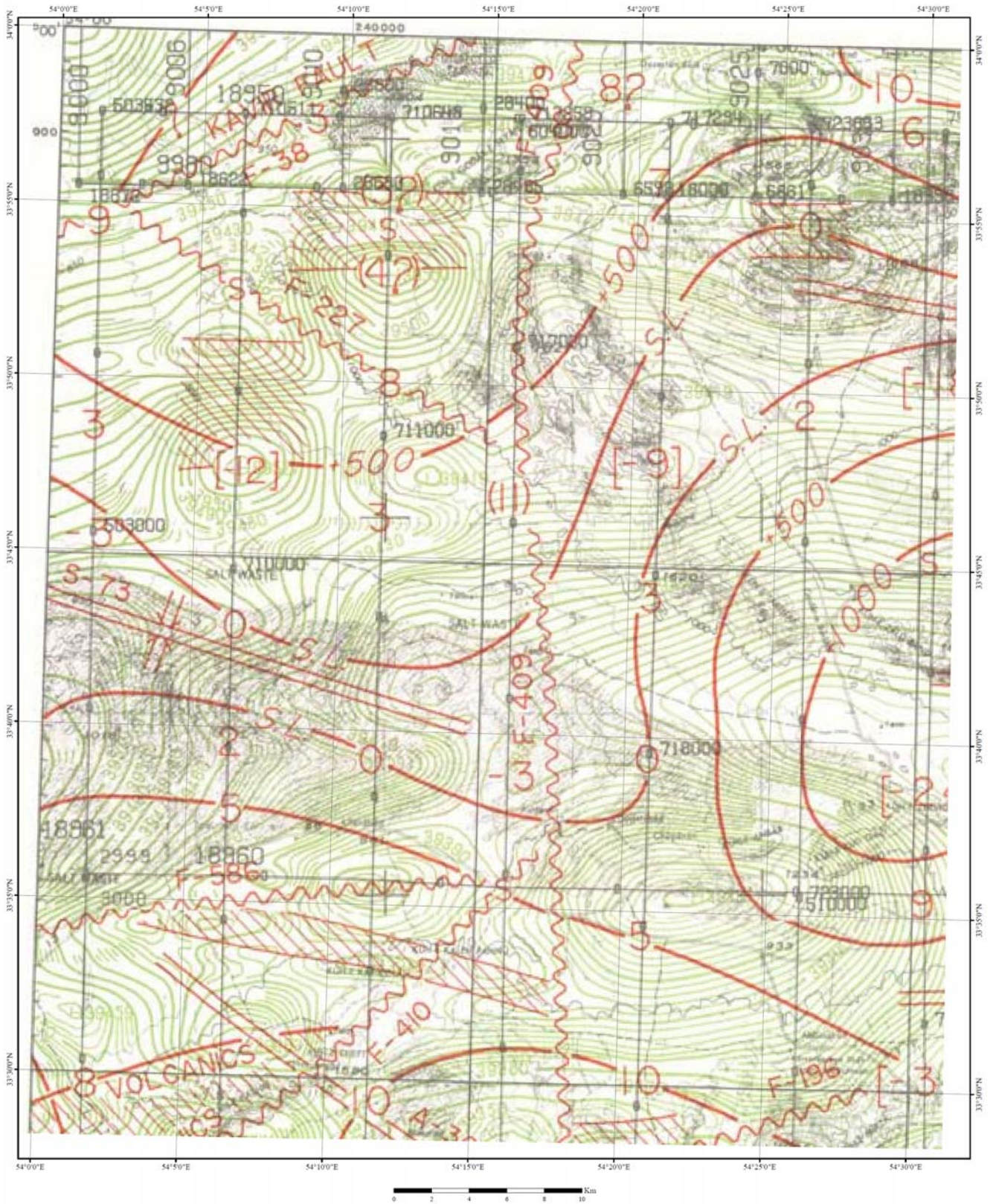
به جهت حصول نتایج واقعی، علاوه بر معیارهای اصولی بر شمرده شده، موارد زیر نیز در هنگام برداشت‌های رسوبات آبراهه‌ای مورد توجه قرار گرفت:

الف) اولویت دادن به رسوبات آبراهه‌ای که سنگ بستر خود را قطع می‌کنند.

ب) در صورت کاهش تعداد حوضه‌های آبریز، مساحت آن‌ها و یا تعداد انشعابات آن‌ها که عموماً از ویژگی مناطق با توپوگرافی متوسط تا آرام می‌باشند و عاملی تا آبراهه‌هایی که قدرت حفر بستر خود را دارند کم شوند، رسوبات رودخانه‌هایی که سنگ بستر را قطع نمی‌کنند به عنوان گزینه‌ای اجباری و البته در مقایسه با سایر گزینه‌ها بهترین انتخاب، در اولویت هستند.

ج) دسترسی آسان به نقاط مورد نظر از پارامترهای مؤثر در انتخاب محل نمونه‌برداری خواهد بود. این امر در کاهش مدت زمان نمونه‌برداری مؤثر می‌باشد.

د) علی‌رغم این که توزیع یکنواخت نمونه یکی از ملاک‌های شبکه ایده‌آل نمونه‌برداری می‌باشد، اما لازم است که در مواردی این اصل نادیده گرفته شود. به عبارت دیگر هنگام طراحی شبکه‌ی نمونه‌برداری یک سری اطلاعات اولیه هم‌چون محل توده‌های نیمه عمیق، روندهای خطی استخراج شده از برداشت‌های ژئوفیزیکی (تصویر ۱-۲) و نقشه‌ی ۱:۱۰۰/۰۰۰ زمین‌شناسی منطقه (تصویر ۱-۳)، محل واحدهای سنگی که پتانسیل کانه‌زایی بیشتری دارند و محل گسل‌ها و تراس‌های بزرگ بر روی نقشه‌ی منعکس شده و چگالی شبکه‌ی نمونه‌برداری در آبراهه‌های منشعب از این پدیده نسبت به سایر مناطق بیشتر منظور می‌شود تا در صورت وجود کانی‌سازی احتمالی بتوان به ثبت دقیق آن کمک کرد. هم‌چنین به کارشناسان نمونه‌بردار اجازه داده می‌شود تا در حین عملیات صحرایی با تشخیص مناطق احتمالاً پتانسیل‌دار به خصوص روندهای خطی، زون‌های آلتره، دگرگونی‌های مجاورتی و کنتاکت واحدهای دارای پتانسیل کانه‌سازی نسبت به تغییر محل‌هایی که از پیش تعیین شده و یا اضافه و کم کردن نمونه‌ها اقدام نمایند.



تصویر ۱-۲- نقشه ژئوفیزیک هوایی ۱:۲۵۰۰۰۰

۳-۲- نمونه برداری و آماده‌سازی نمونه‌ها

در نمونه برداری ژئوشیمیایی به ویژه از رسوبات رودخانه‌ای باید هرگونه تفریق ممکن را مورد توجه قرار داد، زیرا فرایند تفریق ممکن است موجب کاهش شدت تمرکز در رسوبات گردد. برای مثال تغییرات موسمی آب و هوا، افزایش شدت بارندگی در فصلی خاص و خشک یا آبدار بودن رودخانه‌های فصلی به شدت در مقدار تمرکز عناصر کمیاب اثر می‌گذارد. بدین جهت سعی بر آن شد تا کل عملیات نمونه برداری از یک محدوده‌ی اکتشافی طی یک فصل و آن هم در مدت زمانی کوتاه انجام پذیرد تا از ثابت بودن این متغیرها حداکثر اطمینان حاصل گردد. از این رو تمامی برداشت‌های آبراهه‌ای در خرداد ماه ۱۳۸۸ و طی ۱۰ روز انجام پذیرفت.

در نمونه برداری از رسوبات آبراهه‌ای که به طور عمده دارای اجزای آواری می‌باشند، الک کردن رسوبات و برداشت اجزایی در اندازه‌ی مناسب امری ضروری است. این اندازه معمولاً براساس تجربه در کارهای ژئوشیمیایی انجام پذیرفته یا در حال انجام در کشور، ۸۰- مش در نظر گرفته می‌شود (که این سایز مطابق شرح خدمات سازمان زمین‌شناسی است). مقدار رسوب برداشت شده با این اندازه در حدود ۲۰۰ گرم می‌باشد.

در مجموع ۵۶۲ نمونه‌ی آبراهه‌ای و ۱۷۸ نمونه‌ی کانی سنگین در این ورقه طراحی گردید که تعدادی از نقاط طراحی شده بعلت قرار گرفتن در مناطق نامناسب یا عدم وجود آبراهه مناسب در حین عملیات صحرایی حذف گردیدند. در نهایت ۵۲۶ نمونه‌ی آبراهه‌ای و ۱۶۳ نمونه‌ی کانی سنگین برداشت شد که نقشه‌ی شماره‌ی ۱-۲ نشان‌دهنده‌ی موقعیت این تعداد نمونه‌ی نهایی است.

رخنمون سنگی در این ورقه در حدود ۹۰۰ کیلومتر مربع می‌باشد بنابراین به ازاء هر ۲ کیلومتر مربع یک نمونه آبراهه‌ای و به ازاء هر ۵ کیلومتر مربع یک نمونه کانی سنگین برداشت شده است.

لازم بذکر است تعداد نمونه‌های طراحی شده با نمونه‌های برداشت شده (بخش نمونه برداری) متفاوت بوده و درحین برداشت نمونه‌ها بنابر دید کارشناسان و شرایط موجود این تعداد تغییر کرده است. در پیوست الف نیز مختصات‌های نهایی این نمونه‌ها ارائه شده است.

نقشه ۱-۲ - قطع A3

۲-۴- آنالیز نمونه‌ها

پس از اتمام عملیات برداشت صحرائی، تمامی نمونه‌ها به آزمایشگاه شرکت زرا آزمایش جهت آماده‌سازی و آنالیز، منتقل گردید.

آنگاه تمامی نمونه‌ها برای ۴۳ عنصر به شرح ذیل آنالیز گردیده است. روش آنالیز برای تمامی عناصر ICP-OES می‌باشد. برای بالا بردن دقت آنالیز طلا، نمونه‌ها برای آنالیز طلا به روش Fire Assay آماده‌سازی شده است. در ذیل عناصر مورد آنالیز به همراه حد حساسیت هر یک آورده شده است. پیوست شماره (الف) نتایج آنالیز نمونه‌های آبراهه‌ای را نشان می‌دهد.

جدول ۲-۱- عناصر تجزیه شده به همراه حد حساسیت هر یک از آنها

Element	Au	Al	Ca	Fe	K	Mg	Na	Cr	Ag	As	Ba	Be	Bi	Cd	Ce	Co
(Unit)	ppb	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
Detection Limit	1	100	100	100	100	100	100	1	0.1	0.5	2	0.2	0.2	0.1	1	1
Element	Cs	Cu	La	Li	Mn	Mo	Nb	Ni	P	Pb	Rb	S	Sb	Sc	Sn	Sr
(Unit)	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
Detection Limit	0.5	1	1	1	5	0.5	1	1	10	1	1	50	0.5	0.5	0.5	2
Element	Te	Th	Ti	Tl	U	V	W	Y	Yb	Zn	Zr					
(Unit)	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm					
Detection Limit	0.1	0.5	10	0.2	0.5	2	0.5	0.5	0.2	1	5					

۲-۵- تهیه نمونه‌های تکراری

به منظور کنترل دقت آزمایشگاه اقدام به تهیه ۳۰ نمونه تکراری از سایز ۲۰۰ مش گردید. این نمونه‌ها پس از انتخاب در حضور نماینده آزمایشگاه تقسیم و کدگذاری گردیده و به همراه دیگر نمونه‌ها به آزمایشگاه ارسال شده‌اند. نتایج حاصل از آنالیز نمونه‌های تکراری در ادامه گزارش به طور کامل آورده شده است.

۲-۶- پردازش‌های آماری

پردازش داده‌های ژئوشیمیایی فاز مستقلی را در بین فازهای مختلف عملیات اکتشافی تشکیل می‌دهد که چنانچه به طریق مناسبی صورت پذیرد موجب تسهیل فاز تحلیل داده‌ها می‌گردد. این مرحله یکی از مشکل‌ترین و مهم‌ترین مراحل در کاربرد موفقیت‌آمیز ژئوشیمی اکتشافی است. اگرچه مقالات و نوشتارهای آماری متنوعی وجود دارد که دامنه وسیعی از تکنیک‌های پردازش داده‌ها را معرفی می‌کنند ولی با در نظر گرفتن این که هر کدام از آنها در جای

خاصی کاربرد داشته و مزیت خاصی دارند، افراد معمولی و غیر متخصص را با مسئله‌ی تصمیم‌گیری در مورد انتخاب روش مناسب برای پردازش داده‌های حاصل از یک عملیات ژئوشیمیایی روبرو می‌کند. تجزیه و تحلیل داده‌های اکتشافی در بیشتر موارد تجربی بوده و این امر به علت خصلت اساساً عددی این داده‌ها و نبود مدل‌های ریاضی لازم جهت توصیف نوع منبع، چگونگی مهاجرت، تفریق، ته‌نشست و تمرکز عناصر کمیاب در سنگ‌ها است. از این رو جای تعجب نیست که داده‌های ژئوشیمیایی، در معرض تجزیه و تحلیل آماری قرار گیرند. یکی دیگر از علل تجزیه و تحلیل آماری ژئوشیمیایی شناسایی آنومالی‌های مرتبط با کانی‌سازی از انواع بی‌اهمیت است. به طور کلی عملیات اکتشافات ژئوشیمیایی زمانی می‌تواند نتیجه بخش باشد که برای هر مورد خاص در انتخاب بهترین روش اکتشافی، محیط نمونه‌برداری، اندازه و بزرگی ذرات تشکیل‌دهنده نمونه، فواصل بهینه‌ی نمونه‌برداری و روش‌های آماری که باید به منظور تفسیر تغییرات موجود در داده‌ها به کار گرفته شوند، توجه لازم به عمل آید.

تنوع روش‌های آماری باعث می‌گردد تا کاربر بتواند تعداد زیادی تجزیه و تحلیل از داده‌ها انجام دهد اما آنچه مهم است این که آیا چنین روش‌هایی در تفسیر کلی جوامع مورد پردازش مؤثرند یا خیر؟ لذا به جهت عدم ارایه‌ی مطالب زاید دو ملاک در انجام هر پردازش مدنظر قرار گرفت که عبارتند از :

وجود داده‌های کافی جهت انجام هر پردازش

مفید بودن پردازش مورد نظر به لحاظ یافت جواب سؤالات مجهول مورد توجه در بحث اکتشاف

۲-۶-۱- تعیین خطای آنالیز نمونه‌ها برای عناصر مختلف

به منظور استفاده مطلوب از نتایج اندازه‌گیری‌ها، باید از میزان دقت و صحت داده‌ها آگاه باشیم. بدین‌منظور آزمایشات کنترل کیفیت جهت تعیین خطای مراحل آماده‌سازی و آنالیز انجام می‌شود. بطور کلی قابلیت اعتماد به داده‌های حاصل از اندازه‌گیری تابع مقدار خطای تصادفی و سیستماتیک است.

خطاهای تصادفی در اثر عوامل خارج از کنترل شخص عمل‌کننده حاصل می‌گردند و بدین‌لحاظ وجود آنها (نه بزرگی آنها) اجتناب‌ناپذیر است ولی با بکارگیری دستگاه‌های دقیق و روش‌های مناسب می‌توان مقدار آن را کاهش داد. از ویژگی‌های آماری این نوع خطا این است که جمع جبری آنها حول میانگین باید صفر باشد.

خطای سیستماتیک باعث می‌شود که میانگین مقادیر اندازه‌گیری شده یک کمیت به اندازه‌ای معین از مقدار حقیقی آن کمتر یا بیشتر شود. باید توجه داشت که منظور از خطا در نمونه‌برداری، خطای سیستماتیک است زیرا خطای تصادفی صرفاً در اثر تغییرات تصادفی ذاتی ایجاد می‌شود و در هر نوع اندازه‌گیری کم و بیش وجود دارد. در پروژه‌های اکتشافی اهمیت صحت و دقت اندازه‌گیری‌ها بستگی به مقیاس عملیات دارد. به عنوان مثال در عملیات اکتشافی تا قبل از مرحله تعیین ذخیره، آنچه که بیشتر اهمیت دارد دقت اندازه‌گیری‌هاست، زیرا در این مقیاس از عملیات

سنجش‌ها نسبی است نه مطلق و کاهش یا افزایش مقدار ثابتی به همگی داده‌ها در وضعیت نسبی آنها بی‌تأثیر نیست. در مرحله تخمین ذخیره، اگرچه دقت و صحت هر دو مهم است ولی خطر اصلی کاهش صحت است.

۲-۱-۱-۶- روش محاسبه

به منظور تعیین دقت آزمایشگاه یکسری نمونه تکراری تهیه و به آزمایشگاه فرستاده شده است تا بتوان دقت اندازه‌گیری‌ها را محاسبه کرد. در این پروژه تعداد ۳۰ عدد نمونه تکراری تهیه و به آزمایشگاه ارسال شدند. برای محاسبه خطای نسبی آنالیزها از یک روش ساده محاسباتی بصورت زیر استفاده گردیده است. این خطا از رابطه ذیل محاسبه می‌گردد:

$$e = 2/n \left[\sum |x_i - y_i| / (x_i + y_i) \right] \times 100$$

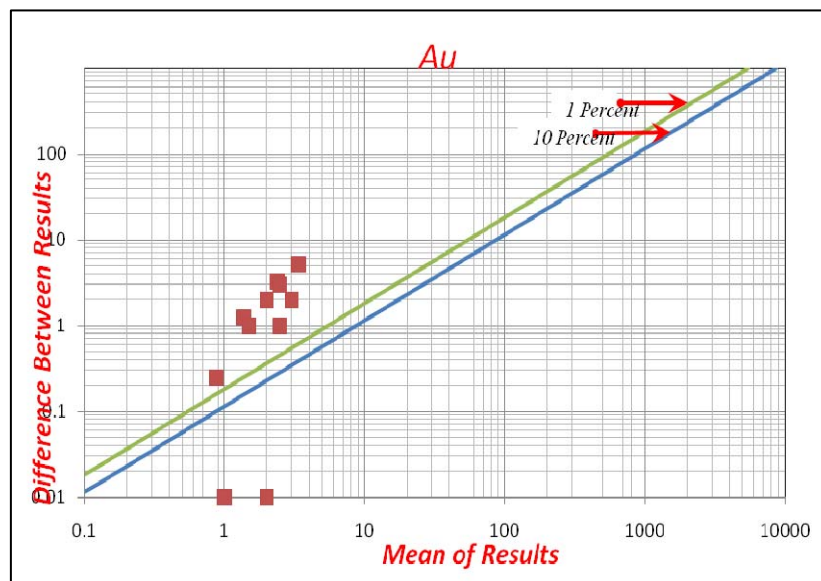
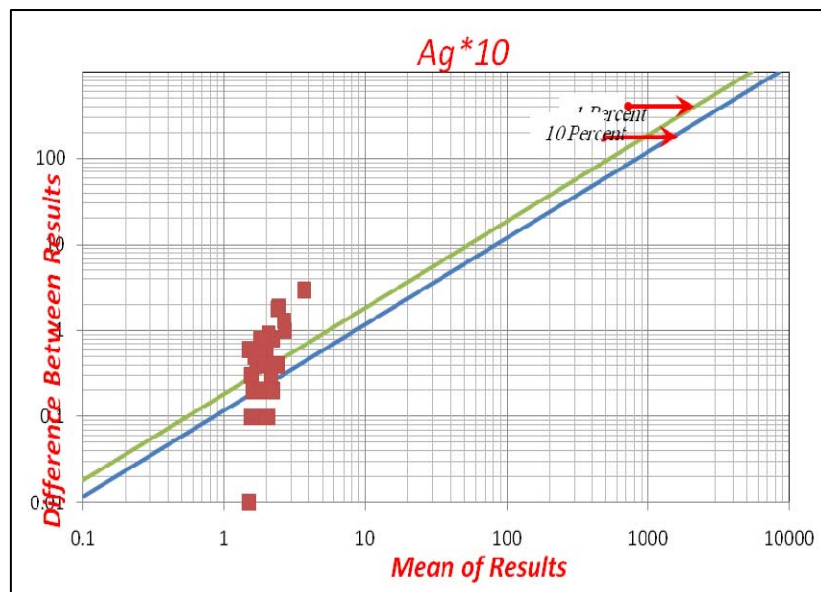
که در آن n تعداد نمونه‌های تکراری، X_i و Y_i مقادیر اندازه‌گیری شده در نمونه‌اصلی و نمونه تکراری متناظر آن است. جدول ۲-۲ نتایج حاصل از اندازه‌گیری نمونه‌های اصلی و تکراری را در بین نمونه‌های آبراهه‌ای این ناحیه نشان می‌دهد.

جدول ۲-۲- میزان خطای عناصر تجزیه شده که بروش محاسباتی بدست آمده است

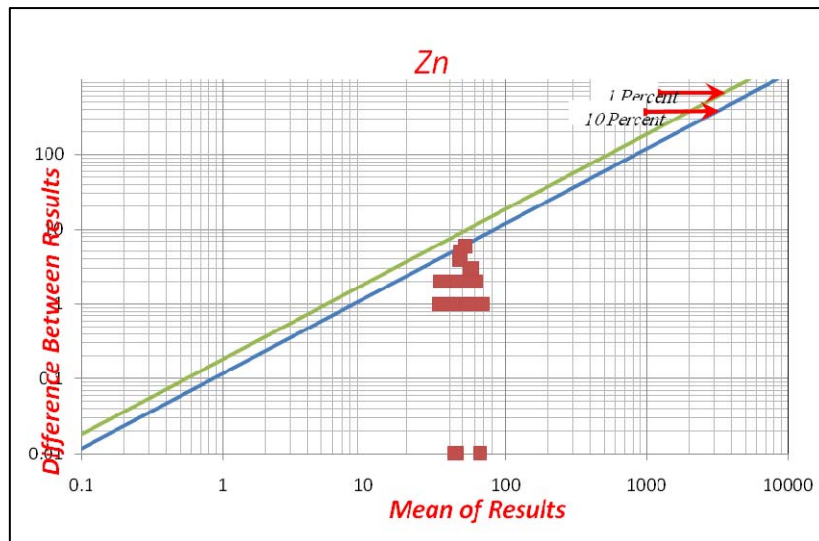
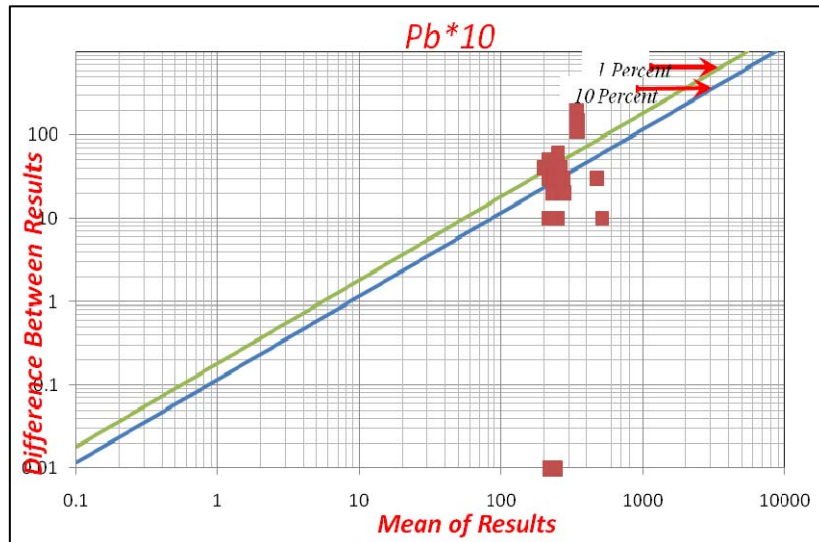
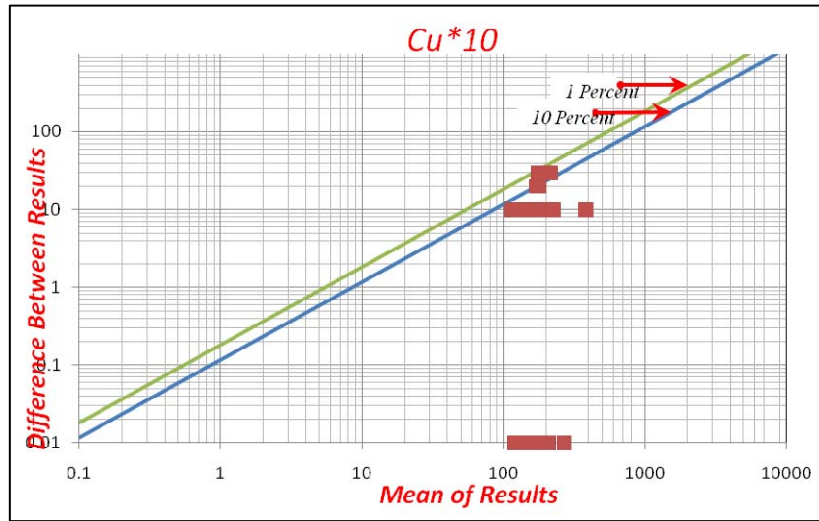
Element	Au	Ag	Al	As	Ba	Be	Bi	Ca	Cd	Ce	Co	Cr	Cs	Cu	Fe
Error(%)	55.3	29.8	3.3	14.0	19.7	8.3	46.0	9.7	10.2	4.0	6.8	18.8	13.6	5.0	9.8
Element	K	La	Li	Mg	Mn	Mo	Na	Nb	Ni	P	Pb	Rb	S	Sb	Sc
Error(%)	9.0	3.0	4.7	8.6	4.0	8.8	11.9	10.5	6.2	2.4	14.1	20.3	8.5	7.3	3.3
Element	Sn	Sr	Te	Th	Ti	Tl	U	V	W	Y	Zn	Zr			
Error(%)	9.0	4.0	13.5	11.5	3.6	11.4	6.3	3.7	12.8	3.0	3.9	3.5			

همانطور که در جدول (۲-۲) دیده می‌شود عناصر طلا، نقره، بیسموت و روییدیم دارای بیشترین خطا می‌باشند و همگی آنها دارای خطای بالای ۲۰ درصد هستند. بر اساس روش محاسباتی خطای تا ۲۰ درصد پذیرفتنی است و بالای آن، خطای غیر مجاز خوانده می‌شود. اما این وضعیت زمانی که مقادیر به حد تشخیص دستگاه نزدیک نباشند پذیرفتنی است، و در غیر اینصورت داده‌ها به دو گروه زیر ۱۰ برابر حد تشخیص دستگاه و بالای ۱۰ برابر حد تشخیص دستگاه تقسیم‌بندی می‌شوند. اما در داده‌های عناصر ذکر شده در بالا (عناصر دارای خطای بالا) تمامی داده‌ها زیر ۱۰ برابر حد تشخیص دستگاه هستند و در اینگونه مواقع خطای بالا امری طبیعی است. بنابراین می‌توان گفت که خطای بالای بدست آمده در این عناصر منطقی است و قابل پذیرش. در مجموع می‌بایست بیان گردد که خطاهای بدست آمده از نمونه‌های تکراری چوپانان، خطاهایی قابل پذیرش و در حد معقول است.

علاوه بر روش محاسباتی از روش تامپسون- هوارث نیز برای بررسی داده‌های تکراری استفاده شد که نتایج مشابهی برای داده‌های چوپانان بدست داد. تمامی نمودارهای بدست آمده توسط این روش در پیوست گزارش ارائه شده است. در تصویر (۲-۲) نیز نمودار چند عنصر مهم کانساری ارائه شده که نشان دهنده‌ی خطای قابل پذیرش برای این کانسارهاست.



تصویر ۲-۲- نمودارهای تامپسون- هوارث برای عناصر طلا و نقره در ورقه چوپانان



ادامه تصویر ۲-۲ - نمودارهای تامپسون - هوارث برای عناصر مس، سرب و روی در ورقه چوپانان

۲-۶-۲- فایل‌بندی داده‌های خام

اولین قدم در انجام مراحل مختلف پردازش داده‌ها وارد کردن و فایل‌بندی داده‌های حاصل از آنالیز در رایانه و تهیه بانک اطلاعاتی مورد نظر است. این کار برای تمامی ۶۸۹ نمونه به‌مراه مختصات، شماره نمونه، روش آنالیز و حد حساسیت برای هر عنصر و با استفاده از نرم‌افزارهای Excel، SPSS و ArcGIS انجام گردید. همچنین نقشه‌های اولیه و پایه نیز در نرم‌افزارهای AutoCAD و ArcGIS وارد شدند.

۲-۶-۳- پردازش داده‌های خارج از حدود سنسورد

داده‌های سنسورد به داده‌هایی گفته می‌شود که در بین آن‌ها به علت بالا بودن حد حساسیت دستگاه‌های اندازه‌گیری، تعدادی داده به صورت مقادیر کوچکتر از حد حساسیت دستگاه یافت می‌شود. وجود چنین اعدادی در بین یکسری داده می‌تواند بررسی‌های آماری را دچار اختلال کند زیرا: (۱) روش‌های آماری نیاز به مجموعه‌ای کاملی از داده‌های غیر سنسورد دارد. (۲) در مواردی که سنجش‌های نسبی صورت می‌گیرد مانند جداسازی زمینه از آنومالی، وجود داده‌های سنسورد موجب ارزیابی‌های غیر دقیق می‌شود. اگر داده‌های سنسورد تخمین زده شوند و جایگزین گردند، مقدار زمینه و شدت آنومالی‌ها دقیق‌تر محاسبه خواهد شد.

روش‌های مختلفی برای تخمین مقادیر سنسورد وجود دارد که هم برای داده‌های سنسورد شده از بالا و هم برای داده‌های سنسورد شده از پایین مورد استفاده قرار می‌گیرند. در این پروژه از یک روش جایگزینی ساده استفاده شده است. در ضمن در میان داده‌های موجود، داده‌های سنسورد شده از بالا وجود ندارد. در این روش ساده مقادیر کمتر از حد حساسیت در مرز پایینی را با $3/4$ آن جایگزین می‌کنیم. معمولاً اگر تعداد داده‌های سنسورد در مقابل کل داده‌ها ناچیز باشد (حدود ۱۵-۱۰ درصد) می‌توان از این روش استفاده کرد. جدول ۲-۳ نتیجه این جایگزینی را در میان عناصر دارای داده سنسورد در نمونه‌های ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ چوپانان نشان می‌دهد. همانطور که از این جدول برمی‌آید تنها ۲ عنصر طلا و تلوریم دارای داده‌های سنسورد هستند. در مورد طلا هر چند تعداد سنسورد تاحدی بالاست اما با توجه به اهمیت این عنصر در نتیجه‌گیری‌ها با کمی ریسک این جایگزینی صورت پذیرفته است.

جدول ۲-۳- عناصر دارای حدود سنسورد در نمونه‌های آبراهه‌ای ورقه‌ی چوپانان

Elements	Au	Al	Ca	Fe	K	Mg	Na	Cr	Ag	As	Ba	Be	Bi	Cd	Ce
Unit	ppb	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
DL	1	100	100	100	100	100	100	1	0.1	0.5	2	0.2	0.2	0.1	1
Replace with	0.75	75	75	75	75	75	75	0.75	0.08	0.375	1.5	0.15	0.15	0.08	0.75
Number of Censord	406	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Elements	Co	Cs	Cu	La	Li	Mn	Mo	Nb	Ni	P	Pb	Rb	S	Sb	Sc
Unit	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
DL	1	0.5	1	1	1	5	0.5	1	1	10	1	1	50	0.5	0.5
Replace with	0.75	0.38	0.75	0.75	0.75	3.75	0.38	0.75	0.75	7.5	0.75	0.75	37.5	0.38	0.38
Number of Censord	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Elements	Sn	Sr	Te	Th	Ti	Tl	U	V	W	Y	Yb	Zn	Zr		
Unit	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm		
DL	0.5	2	0.1	0.5	10	0.2	0.5	2	0.5	0.5	0.2	1	5		
Replace with	0.38	1.5	0.08	0.38	7.5	0.15	0.38	1.5	0.38	0.375	0.15	0.75	3.75		
Number of Censord	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		

۲-۶-۴- حذف مقادیر خارج از رده (Outlier)

اکثر جوامع آماری که در پروژه‌های اکتشافی با آن‌ها سر و کار داریم، غیر نرمال بوده و دارای چولگی مثبت می‌باشند. این گونه جوامع دارای مقادیر پرعیاری در کرانه سمت راست توزیع هستند که به جامعه زمین یا جامعه‌ای با عیار میانگین اضافه شده‌اند. این مقادیر غیر عادی بالا در واقع آنومالی‌ها (در مقیاس ناحیه‌ای) و یا پیکره‌های کانسنگ پرعیار (در مقیاس محلی) را شامل می‌شوند.

مقادیر پرعیار در صورتی که غیر قابل قبول تشخیص داده شوند، به عنوان مقادیر خارج از ردیف یا باید از بین داده‌ها حذف گردند و یا تصحیح شوند. اکثر روش‌های به کار گرفته شده بدین منظور زمینه تئوری ندارند و فقط به عنوان روش‌های تجربی مورد استفاده قرار می‌گیرند. روشی که تا حد زیادی در امور تفسیر داده‌های ژئوشیمیایی بکار می‌رود، روش دورفل (Dorffel) می‌باشد. در روش دورفل نموداری برای تعیین حد آستانه‌ای مقادیر خارج از رده در دو سطح معنی‌دار پنج درصد و یک درصد تهیه شده است که این نمودار در تصویر (۲-۳) آورده شده است. در اکثر امور مهندسی و آماری سطح معنی‌دار پنج درصد بکار می‌رود و بهمین ترتیب در تفسیر داده‌های ژئوشیمیایی نیز از این سطح استفاده می‌شود.

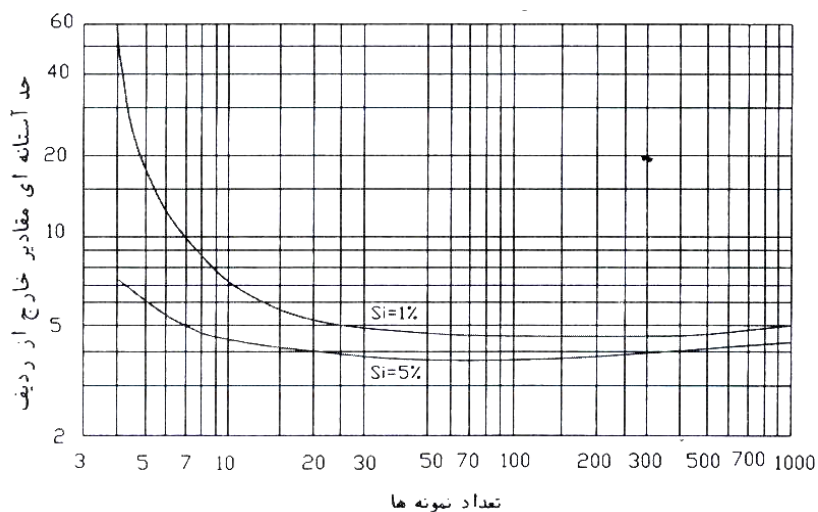
برای انجام آزمون مقادیر خارج از رده دورفل، میانگین (\bar{X}) و انحراف معیار داده‌ها (s) بدون در نظر گرفتن بزرگترین مقدار داده‌ها محاسبه می‌شود. سپس بزرگترین مقدار داده‌ها X_A در صورتی که در رابطه‌ی زیر صدق کند یک مقدار خارج از رده در نظر گرفته می‌شود.

$$X_A \geq \bar{X} + s.g$$

g در این فرمول حد آستانه‌ای مقادیر خارج از رده است که از نمودار دورفل به دست می‌آید. این روش تا جایی ادامه پیدا می‌کند که دیگر میزان X_A در معادله بالا صدق نکند.

بر این اساس برخی از عناصر دارای مقادیر خارج از رده می‌باشند که تعداد و مقادیر جایگزین در جدول (۲-۴) ارائه شده‌اند.

اما همانطور که از جدول (۲-۴) برمی‌آید تعداد جایگزینی برخی از داده‌ها بسیار بیشتر از حد معقول و منطقی است، بعنوان مثال برای عناصر کروم، نقره، گوگرد، سرب، استرانسیوم این روش بیش از ۲۰ عدد نمونه را بعنوان مقادیر خارج از رده نشان می‌دهد. در واقع دلیل آن نیز برخی از ضعف‌های موجود در این روش است. در این روش آنچه که مدنظر قرار نمی‌گیرد مقادیر بسیار کوچک است و بهمین خاطر در صورت وجود این نوع مقادیر در بین داده‌ها (که در واقع خود بنوعی مقادیر خارج از رده البته از پایین هستند) واریانس تحت تاثیر قرار گرفته و باعث می‌شود که این روش کارایی مفید خود را از دست بدهد. بنابراین نمی‌توان به طور مناسبی به این روش اتکا کرد و ممکن است باعث از بین بردن برخی از جوامع آنومال و یا نشان دادن کاذب برخی از داده‌ها بعنوان آنومالی (از طریق تاثیر بر روی پارامترهای آماری) گردد. لذا علاوه بر روش دورفل روش چشمی نیز که متکی بر تجربه شخصی می‌باشد، اجرا گردید که نتیجه آن در جدول (۲-۵) ارائه شده است. در ادامه فرایندهای اجرایی برای هر دو داده اجرا خواهد شد و در نهایت یکی از داده‌ها برای رسم نقشه مورد استفاده قرار می‌گیرد.



تصویر ۲-۳- جدول حد آستانه‌ای مقادیر خارج از ردیف با روش دورفل

جدول ۲-۴- تعداد داده‌های خارج از رده و مقادیر جایگزینی هر یک از عناصر بروش دورفل.

Element	Au	Al	Ca	Fe	K	Mg	Na	Cr	Ag	As	Ba
No Of Replaced	7	0	0	3	1	2	0	28	21	4	13
Replaced With	4	0	0	35376	20568	19812	0	197.00	0.50	28.7	760
Unit	ppb	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
Element	Be	Bi	Cd	Ce	Co	Cs	Cu	La	Li	Mn	Mo
No Of Replaced	1	0	0	1	1	0	5	1	6	1	2
Replaced With	1.42	0	0	56	23	0	44	32	33	982	1.04
Unit	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
Element	Nb	Ni	P	Pb	Rb	S	Sb	Sc	Sn	Sr	Te
No Of Replaced	0	4	3	27	0	53	1	0	0	25	0
Replaced With	0	74	850	54	0	378	0.75	0	0	629	0
Unit	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
Element	Th	Ti	Tl	U	V	W	Y	Yb	Zn	Zr	
No Of Replaced	11	0	0	0	3	0	1	2	3	1	
Replaced With	17	0	0	0	147	0	23	3	85	159	
Unit	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	

جدول ۲-۵- داده‌های خارج از رده و میزان جایگزینی هر یک از عناصر آن‌ها برای داده‌های ورقه چوپانان بروش تجربی.

Elements	Cr	Ag	Ba	Be	Mn	Mo	P	Pb	S	Th	Ti	V	Zn	Zr
Units	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
Replace Value	589	1.94	1329	1.42	982	1.13	850	208	4823	34.5	4854	162	85	159
Detection limite	2	1	4	1	1	1	3	1	2	1	1	2	3	1

۲-۶-۵- نرمال‌سازی داده‌ها

پس از حذف مقادیر خارج از ردیف و اصلاح آن‌ها، جامعه آماری تا حدود زیادی به نرمال نزدیک می‌گردد ولی هنوز تا نرمال شدن به شکل واقعی فاصله زیادی دارد. اکثر روش‌های آماری فرض نرمال بودن توزیع داده‌ها را به همراه دارند. در مسائل اکتشافی با داده‌هایی سر و کار داریم که کمتر اتفاق می‌افتد که شرایط نرمال بودن را داشته باشند. در این شرایط می‌توان با استفاده از توابع تبدیل مختلف، داده‌ها را طوری تبدیل کرد که مقادیر تبدیل یافته آن‌ها دارای توزیع نرمال باشد. اگر داده‌ها دارای توزیع نرمال باشند، میانگین جامعه نمونه، تخمین معتبرتری از میانگین جامعه کل بدست می‌دهد. اگر چه تبدیل توزیع داده‌ها به نرمال دارای مزایایی است ولی نباید تحت هر شرایطی از آن استفاده کرد. به طور خلاصه تصمیم‌گیری در مورد اینکه چه وقت می‌توان از تبدیل استفاده کرد، بستگی به شرایط دارد. اگر بتوان بر اساس مقادیر تبدیل یافته به نتیجه مطلوب رسید، به خصوص وقتی که برگرداندن داده‌ها با مشکلات چندانی همراه نباشد و یا در شرایطی که به سادگی بتوان تبدیل معکوس را انجام داد، می‌توان از تبدیل‌ها استفاده کرد. اگر تخمین بر اساس داده‌های اصلی از دقت کافی برخوردار باشد، بهتر است حتی‌الامکان از تبدیل صرف‌نظر کرد.

با توجه به مباحث مطرح شده، در این پروژه برای نزدیک ساختن توزیع داده‌ها به نرمال از تبدیل لگاریتمی در پایه نپرین (LN) استفاده شده است. جدول (۲-۶) پارامترهای آماری توزیع عناصر را به صورت خام (قبل و پس از حذف داده‌های خارج از رده [بروش دورفل]) و پس از تبدیل در جامعه سنگی نشان می‌دهد. همچنین در این جدول نوع توزیع نهایی مورد استفاده (خام یا لگاریتمی) بعنوان توزیع نرمال ارائه شده است. پارامترهای آماری ارائه شده برای توزیع نرمال بصورت تبدیل‌های برگردان ارائه شده‌اند. بطوریکه در آن‌ها میزان میانگین و انحراف معیار از فرمول‌های زیر بدست آمده‌اند:

$$\bar{X} = e^{\alpha + (\beta^2/2)} \quad S = \bar{X} \times \sqrt{(e^{\beta^2} - 1)}$$

در این فرمول‌ها α و β بترتیب میانگین و انحراف معیار داده‌های لگاریتمی می‌باشند.

علاوه بر این پارامترها، مقدار تابع F نیز در این جدول ارائه گردیده است. تابع F تعیین‌کننده برای تشخیص

$$F = 2 | Sk | + | 3 - K |$$

نوع نرمال داده‌هاست:

که در آن Sk مقدار چولگی و K میزان کشیدگی در توزیع داده‌هاست. بر این اساس هر توزیعی که (خام یا

لگاریتمی) میزان F آن به صفر نزدیکتر باشد نرمالتر است.

همانطور که در جدول ۲-۶ دیده می‌شود برای اکثر عناصر توزیع لگاریتمی به توزیع نرمال نزدیکتر است. علت آن نیز تا حد زیادی بدیهی است. عموماً عناصر کانساری، عناصری هستند که توزیع آن‌ها در حالت لگاریتمی به حالت نرمال نزدیکتر است که علت آن وجود نمونه‌های پرعیار در بین نمونه‌هاست که جامعه‌ای پرعیار را تشکیل می‌دهد. اما علت آنکه در این داده‌ها اکثر عناصر اصلی نیز توزیع لگاریتمی را بحالت نرمال نزدیکتر نشان می‌دهند می‌توان بخاطر وجود جوامع سنگی مختلف دانست که از این لحاظ دارای مقادیر عددی متفاوتی هستند.

پارامتر آماری دیگری که در جدول (۲-۶) آورده شده است، ضریب تغییرات می‌باشد (%Cv)، این ضریب از تقسیم میزان انحراف معیار بر میانگین بدست می‌آید و معیاری برای مقایسه عناصر با هم است. در واقع نمی‌توان انحراف معیارهای عناصر مختلف را باهم مقایسه کرد و این ضریب وسیله‌ای است برای مقایسه عناصر با همدیگر. بدین ترتیب، عناصری که بیشترین تغییر را در نمونه‌ها دارند دارای بیشترین میزان ضریب تغییرات هستند. با نگاهی به جدول (۲-۶) می‌توان دید که در داده‌های خام (که داده‌ی مورد بررسی برای ضریب تغییرات است) بالاترین ضریب تغییرات مربوط به عنصر گوگرد و پس از آن مربوط به عنصر سرب و سپس نقره، مولیبدن و طلاست. وجود بالاترین ضریب تغییرات در داده‌های گوگرد نشان دهنده‌ی وجود بخش‌هایی با میزان گوگرد بالاست که ممکن است مرتبط با کانی‌زایی باشد (گوگرد یکی از اصلی‌ترین عناصر در بسیاری از فرایندهای هیدروترمالی است)، البته ممکن است برخی از سازندهای رسوبی و یا میان‌لایه‌هایی در این سازندها دارای بخش‌های پر گوگرد مانند افق‌های گچ‌دار باشند. وجود عنصر سرب در رتبه دوم نیز نشان از غنی‌شدگی این عنصر در برخی از قسمت‌ها دارد که می‌توان آن را به وجود کمپلکس‌های دگرگونه و آندزیت- داسیت و مونزونیت پورفیری در ورقه نسبت داد.

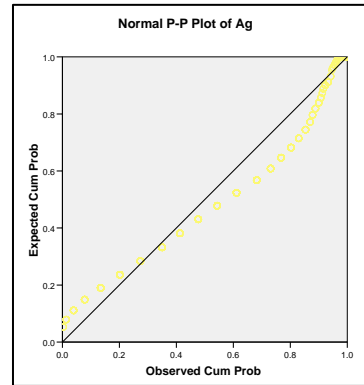
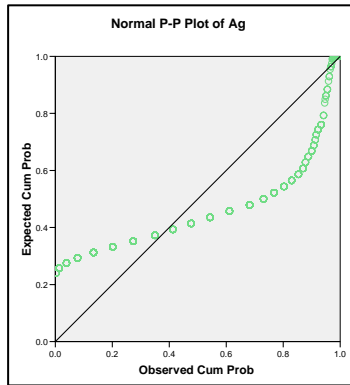
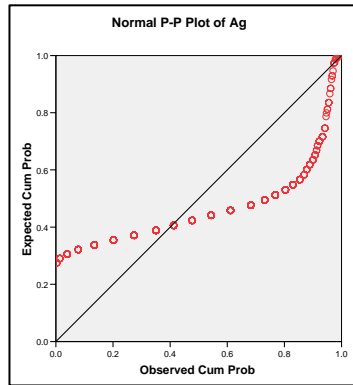
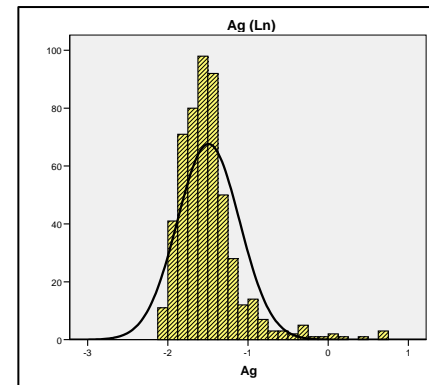
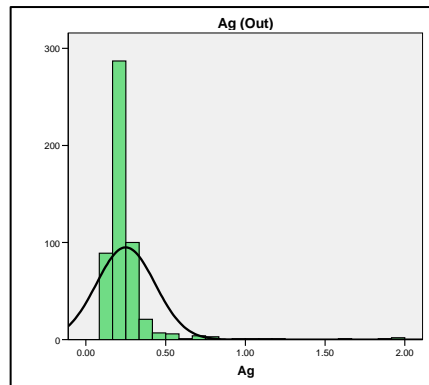
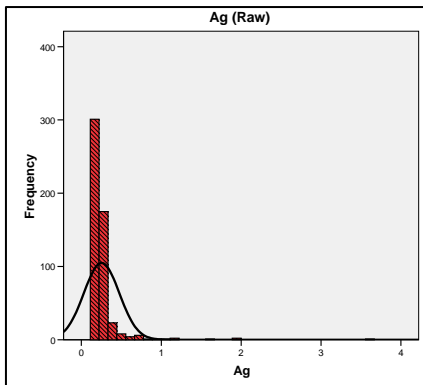
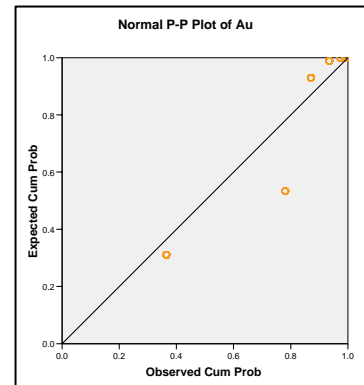
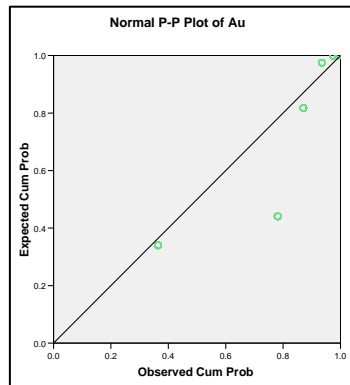
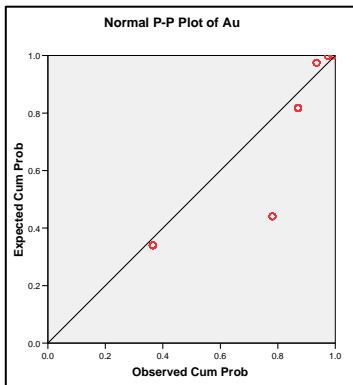
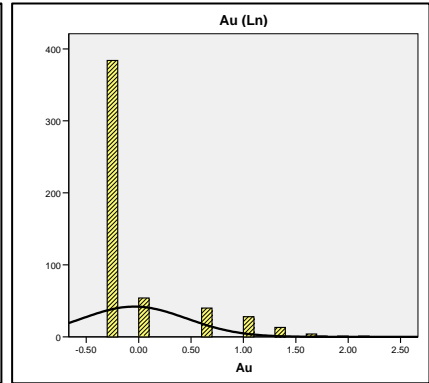
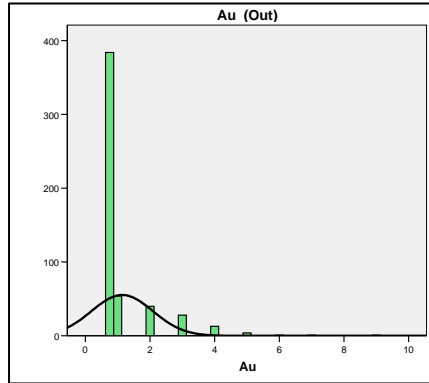
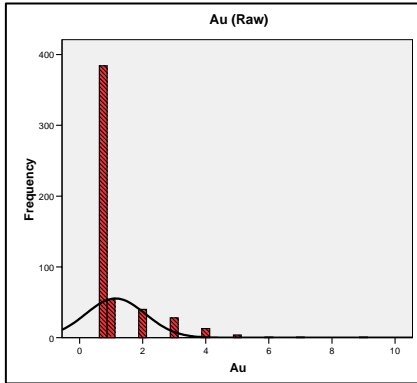
پارامتر ماکزیمم نیز پارامتر جالبی است که نشان دهنده‌ی خوبی برای عناصر آنومال است. برای طلا و نقره مقادیر ماکزیمم بترتیب 9ppb و 3.58 ppm هستند که نشان‌دهنده‌ی مقادیری بسیار پایین می‌باشند که بر این اساس احتمال کانی‌زایی برای این دو عنصر را می‌بایست بسیار ضعیف دانست. از میان عناصر مرتبط با فرایندهای هیدروترمالی محتمل، عناصری مانند As (38.6)، Cu (52)، Pb (750)، Zn (177) و S (9227) [همه واحد ها به ppm هستند] می‌توانند شواهدی بر وجود فرایندهای هیدروترمالی باشند. این مقادیر ماکزیمم مقادیری نسبتاً بالاست و شاید بتوان گفت کانی‌زایی‌هایی (احتمالاً هیدروترمالی) باعث این بوجود آمدن چنین مقادیری شده است. اما عناصری مانند V (247)، Fe (60713) [همه واحد ها به ppm] ممکن است مرتبط با فرایندهای دیگری نیز باشند، با این حال مقادیر بالای آهن درخور تامل می‌باشد.

۲-۶-۶- رسم هیستوگرام‌ها و نمودارهای توزیع تجمعی

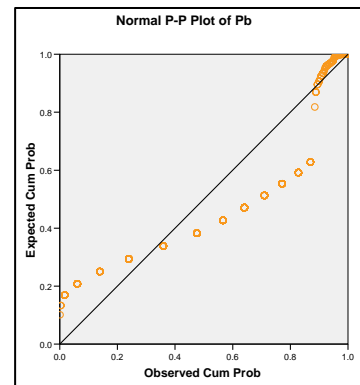
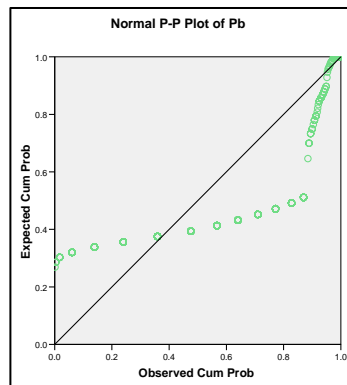
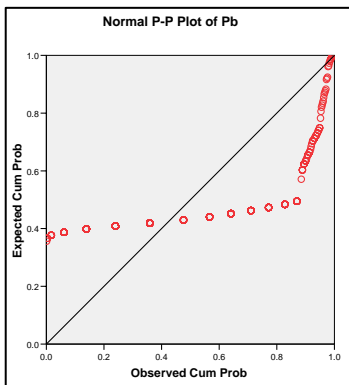
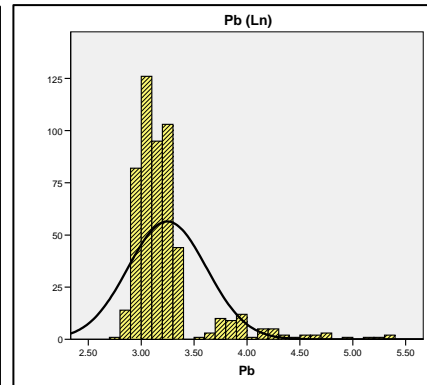
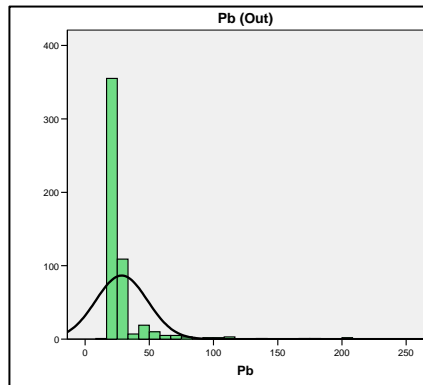
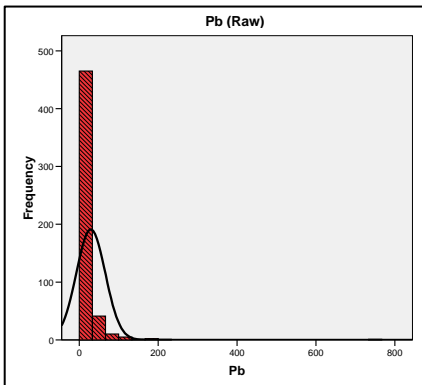
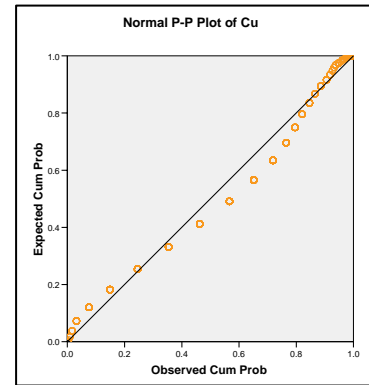
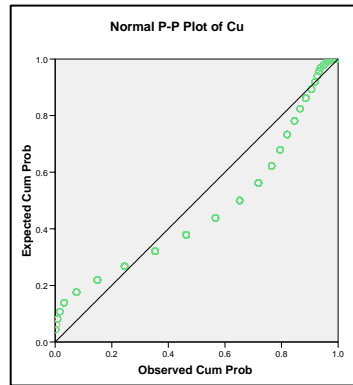
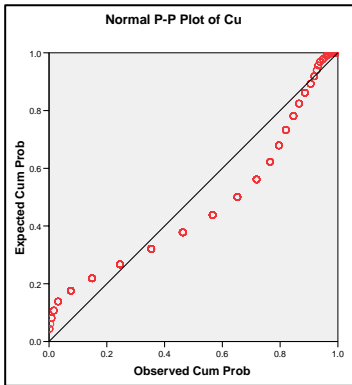
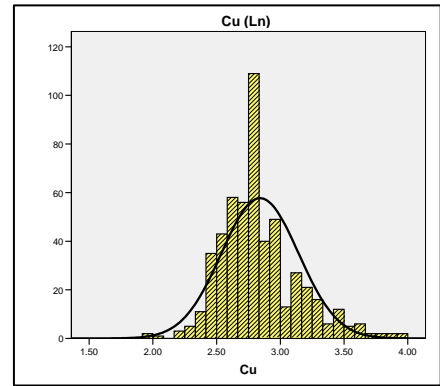
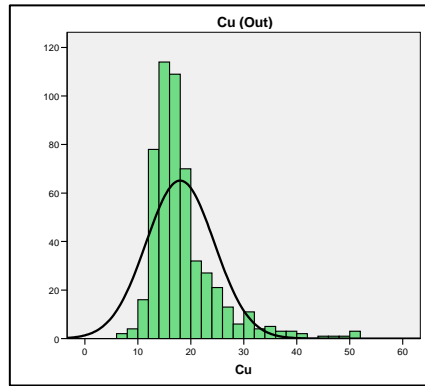
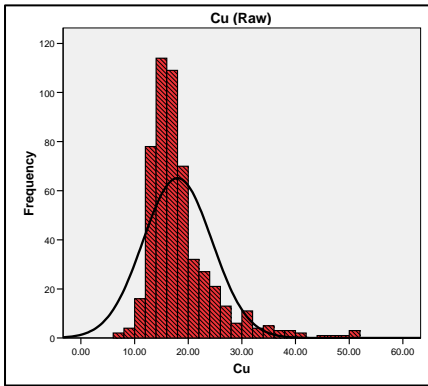
به منظور مشاهده عینی نحوه عملکرد تبدیلات نرمال‌سازی بر روی داده‌ها، هیستوگرام و نمودارهای توزیع تجمعی عناصر کمک شایانی در این زمینه بدست می‌دهد. تصویر ۲-۴ هیستوگرام و نمودارهای توزیع تجمعی ۶ عنصر مهم را برای داده‌های خام (اولیه و بدون خارج از رده) و لگاریتمی در جامعه نمونه‌های آبراهه‌ای نشان می‌دهد. در انتهای گزارش و بصورت پیوست نتیجه این هیستوگرام‌ها و نمودارهای توزیع تجمعی برای تمامی عناصر موجود ارائه شده است.

همانگونه که مشاهده می‌گردد، تبدیل لگاریتمی این داده‌ها به خوبی توانسته است توزیع این عناصر را به نرمال نزدیک سازد.

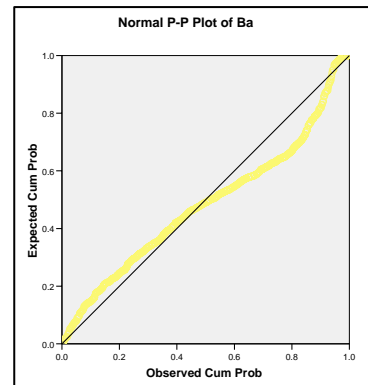
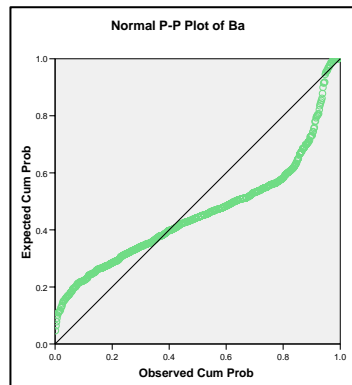
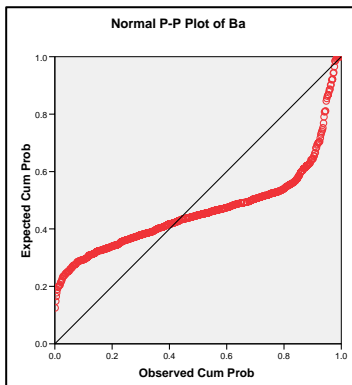
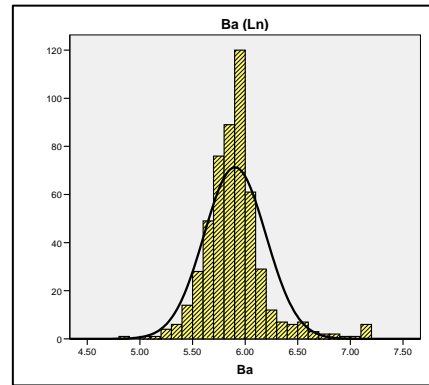
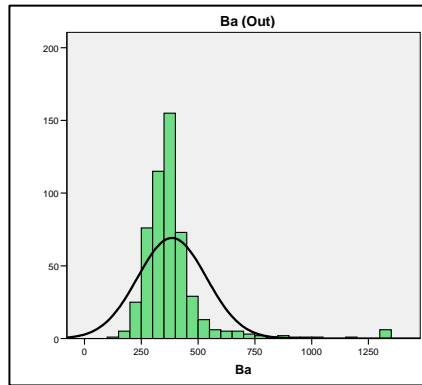
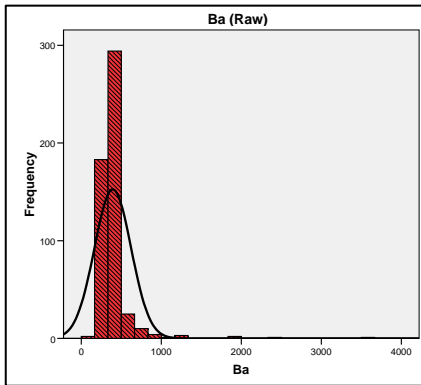
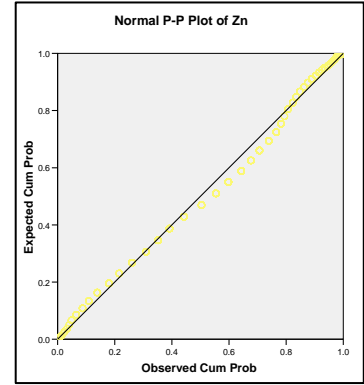
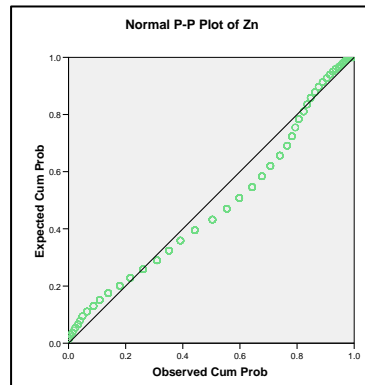
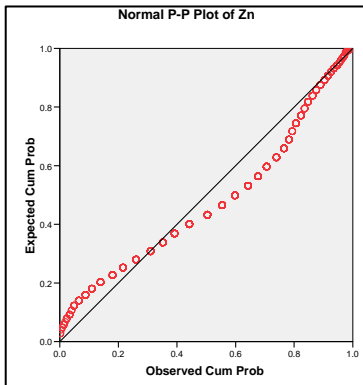
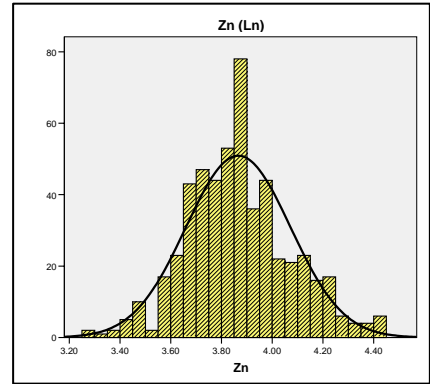
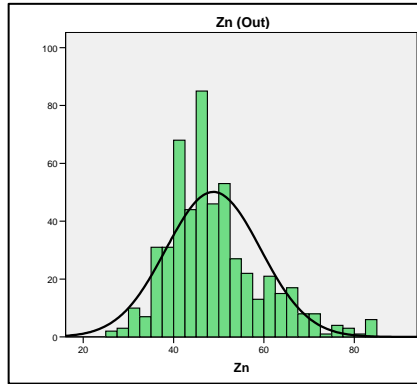
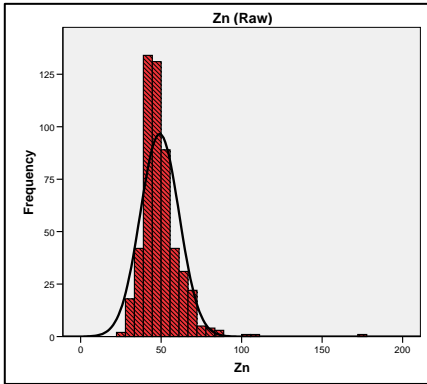
با مشاهده هیستوگرام‌ها می‌توان به این نتیجه رسید که وجود مقادیر پرعیاری باعث بوجود آمدن چولگی راست (مثبت) در اکثر این هیستوگرام‌ها گردیده است. برای عناصری که امکان حذف داده‌های خارج از رده وجود داشته این عمل توانسته تا حدی این چولگی را کم کند و در ادامه نیز تبدیل لگاریتمی بطور بهتری توانسته این کار را انجام دهد که این خود می‌تواند نشانی از کانی‌زایی در محدوده باشد. وجود جوامع پرعیار در میان برخی عناصر مرتبط با ساختارهای لیتولوژیکی آذرین بخوبی دیده می‌شود بطوریکه حتی با نرمال‌سازی نیز این جوامع نمود بسیار خوبی دارند. در مورد طلا، داده‌های با مقادیر پایین اثری از کانی‌زایی را در هیستوگرام‌ها نیز نشان نمی‌دهند. عناصری مانند سرب، روی و مولیبدن، کروم، نیکل نیز بخوبی جوامع پرعیار را نشان می‌دهند که ممکن است مرتبط با کانی‌زایی‌های احتمالی در منطقه باشند.



تصویر ۲-۴-الف) هیستوگرام‌ها و نمودارهای توزیع تجمعی عنصر طلا و نقره، قبل و بعد از حذف داده‌های خارج از رده و پس از تبدیل به حالت



تصویر ۲-۴-ب) هیستوگرام‌ها و نمودارهای توزیع تجمعی عنصر مس و سرب، قبل و بعد از حذف داده‌های خارج از رده و پس از تبدیل به حالت



تصویر ۲-۴-ج) هیستوگرام‌ها و نمودارهای توزیع تجمعی عنصر روی و باریم، قبل و بعد از حذف داده‌های خارج از رده و پس از تبدیل به حالت

۲-۶-۷- مطالعات آماری چند متغیره

روش‌های چند متغیره امکان آنالیز آماری هم‌زمان چندین متغیر را فراهم می‌کنند. مسایل مربوط به یک، دو و یا سه متغیر را می‌توان تصور کرده و به طور گرافیکی نمایش داد، ولی مسایل اکتشافی اغلب با یک فضای چندین متغیره روبرو هستند که این باعث دشواری در بررسی و تشخیص رابطه بین آن‌ها می‌شود. در این گونه موارد لازم است با استفاده از روش‌های آماری چند متغیره به کاهش تعداد بعدها در فضای مورد بررسی اقدام نمود. به طوری که مطالعه‌ی این ابعاد جدید و یا به عبارتی بهتر متغیرهای جدید، که تعدادی به مراتب کمتر از حالت اولیه دارند بتوانند بخش اعظم تغییرپذیری داده‌ها را تشریح کند. به عنوان مثال در ژئوشیمی اکتشافی می‌توان تغییرپذیری هم‌زمان چندین عنصر یا متغیر را برای کشف دقیق‌تر آنومالی‌های احتمالی آن‌ها مورد بررسی قرار داد.

نکته‌ای که در آمار چند متغیره باید به آن توجه شود، تعداد نمونه‌ها در جوامع تحت بررسی است. معمولاً روش‌های چند متغیره نیازمند تعداد زیادی نمونه است. اعتبار این تحلیل‌ها تا حدودی تابع بزرگی جامعه نمونه تحت بررسی است.

۲-۶-۷-۱- محاسبه ضرائب همبستگی عناصر

برای داشتن درکی صحیح از چگونگی توزیع عناصر مختلف در یک ناحیه نیازمند در اختیار داشتن پارامترهایی هستیم تا بتوان نوع و ارتباط آن‌ها را تشریح کرد. با تفسیر پارامترهای این چنینی، امکان یافتن ارتباط ژنتیکی میان عناصر فراهم خواهد آمد. در این میان پارامترهای ضریب همبستگی به دلیل عدم وابستگی به واحد اندازه‌گیری بهترین گزینه محسوب می‌گردد. در محاسبه‌ی همبستگی نیز مانند بسیاری از پارامترهای آماری فرض نرمال بودن داده‌ها الزامی است. در شرایطی که این فرض برقرار نباشد می‌توان داده‌ها را طوری تبدیل کرد، تا توزیع آن‌ها حالت نرمال به خود گیرد؛ البته در این گونه موارد تعبیر و تفسیر همبستگی متغیرها باید با دقت همراه باشد. بالاخره درحالی که توزیع داده‌ها نرمال نباشد و نتوان داده‌ها را تبدیل کرد برای محاسبه ضریب همبستگی باید از روش‌های ناپارامتری که به توزیع داده‌ها حساس نمی‌باشند استفاده نمود. در این پروژه به واسطه‌ی آن که علی‌رغم اعمال روش‌های مختلف، برخی از عناصر به حد نرمال‌شدگی نرسیدند و از هر دو روش بهره گرفته شد سپس تفسیر نهایی با ادغام این دو روش ارائه گردید. جدول (۲-۷) نتایج همبستگی ناپارامتری اسپیرمن و جدول (۲-۸) نتایج نسبت پارامتری پیرسون را نشان می‌دهد.

با نگاهی به این دو جدول می‌توان دید که اصولاً همبستگی معنی‌داری بین طلا و سایر عناصر وجود ندارد که بتوان بدان اشاره کرد.

یکی از مهمترین همبستگی‌های موجود، همبستگی مابین عناصر مافیک می‌باشد که در نوع خود مهم می‌باشد. همبستگی خوب بین کروم و عناصر کبالت، منگنز، نیکل، وانادیم، آهن و روی (در اسپیرمن) نشان‌دهنده‌ی پارائزنی از عناصر مافیک است که در سنگ‌های با ترکیب بازیک مشاهده می‌شود. این همبستگی هم در اسپیرمن و هم در پیرسون بخوبی نمود دارد.

ارتباط مابین برخی از عناصر فرایندهای هیدروترمالی مانند عناصر مس، سرب و روی در هر دو جدول یا مقادیر مختلف همبستگی بخوبی دیده می‌شود که نشان از احتمال برخی از کانی‌زایی‌های هیدروترمالی در منطقه دارد. مس دارای همبستگی با عناصر $Zr, Sc, Ti, Th, Y, La, Li, Mn, P, As, Ba, Pb, V, Zn$ می‌باشد. همبستگی مس و نیکل بیشتر بدین معناست که در روند عمومی، تغییرات مقادیر مس ناشی از تغییرات لیتولوژیکی است. مس در بسیاری از ساختارهای بازیک غنی‌شدگی نسبی‌ای را از خود نشان می‌دهد که می‌تواند با نیکل نیز به همین خاطر همبستگی نشان دهد. همچنین همبستگی قوی میان مس و روی می‌تواند نشان از کانی‌زایی همزمان این دو عنصر باشد.

همبستگی مابین سرب و روی با عناصر کبالت، آهن، منگنز، کروم، تیتانیوم، وانادیم، روی و باریم نشان از این حقیقت دارد که تغییرات عیاری سرب و روی نیز به احتمال بسیاری قوی ناشی از تغییرات ساختاری است. البته همبستگی بسیار قوی روی و آهن ممکن است نشان‌دهنده‌ی برخی از همراهی‌های این عنصر با اکسیدهای آهن باشد.

۲-۶-۷-۲- آنالیز خوشه‌ای

تجزیه و تحلیل خوشه‌ای یکی از روش‌های چند متغیره است که هدف از آن دست یافتن به ملاکی برای طبقه‌بندی هر چه مناسب‌تر متغیرها و یا نمونه‌ها بر اساس تشابه هر چه بیشتر درون گروهی و اختلاف هر چه بیشتر بین گروهی است. در اینجا ملاک شباهت ضریب همبستگی و الگوریتم خوشه‌بندی روش مرکزی (Centroid) بوده است. تصویر (۲-۵) دندروگرام حاصل از آنالیز کلاستری داده‌های آبراهه‌ای ورقه چوپانان را نشان می‌دهد.

با توجه به دندروگرام ارائه گردیده، نتایج ذیل قابل استنتاج است :

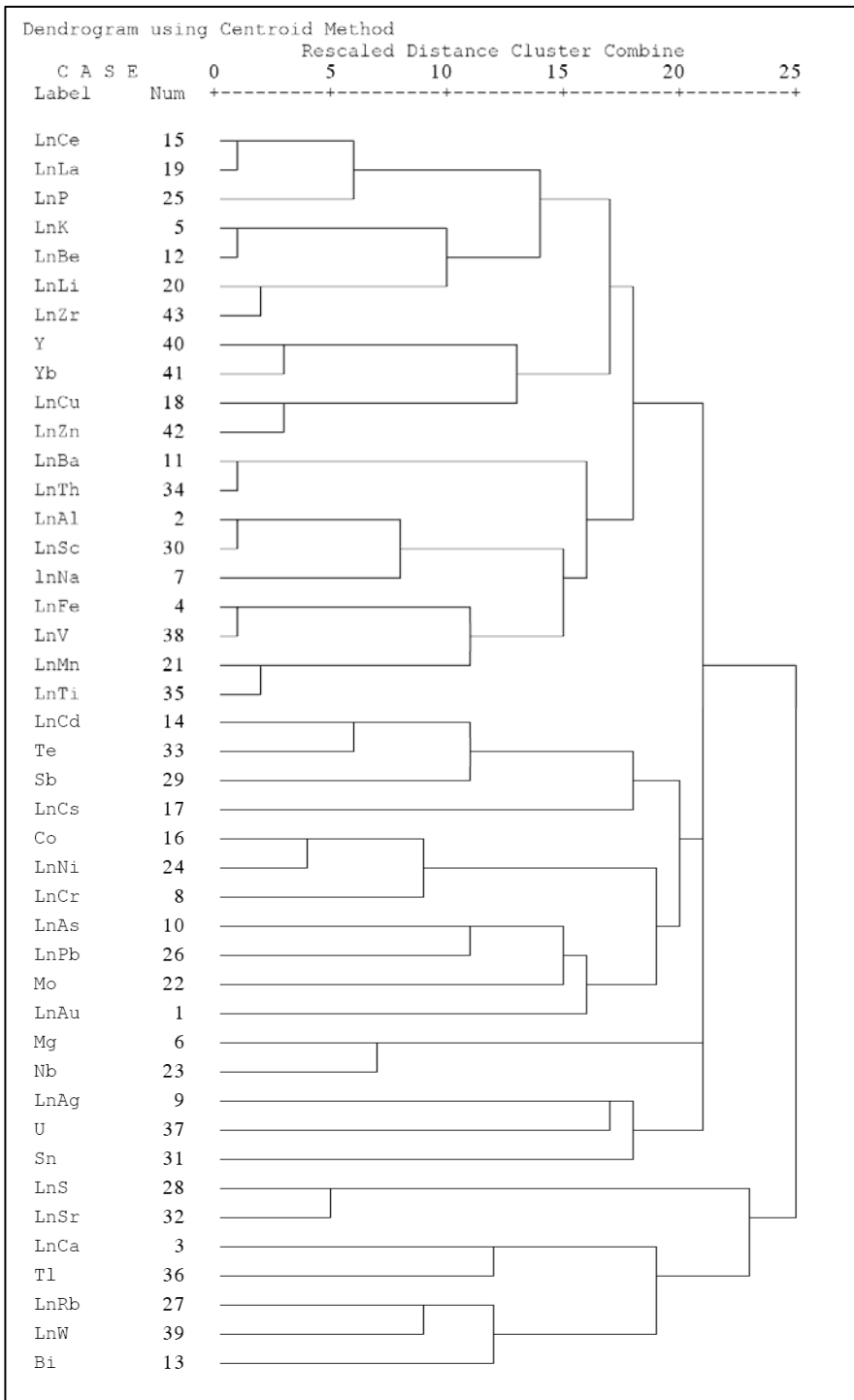
عناصر مافیک Fe, V, Ti, Mn در دو خوشه نزدیک به هم قرار گرفته اند که می‌تواند نشان دهنده‌ی حضور ساختارهای بازیک در منطقه باشد.

همچنین عناصر Co, Ni, Cr نیز در یک خوشه قرار گرفته اند که طبیعی می‌باشد.

عناصر سرب، آرسنیک و مولیبدن در یک خوشه و در ارتباط نزدیک با طلا می‌باشد که می‌تواند بیانگر حضور برخی از فعالیت‌های هیدروترمالی و در نتیجه تجمع این عناصر باشد.

حضور روی و مس در یک خوشه می‌تواند نشان از کانه‌زایی همزمان این دو عنصر باشد. در واقع هر جا کانه‌زایی مس در منطقه به چشم می‌خورد، می‌توان انتظار کانی‌زایی روی را داشت. این موضوع می‌تواند تایید کننده شواهد بدست آمده از آنالیزهای همبستگی است که در آن‌ها مس و روی دارای همبستگی قوی می‌باشند.

باریم و توریم در یک خوشه با یکدیگر دیده می‌شوند که اگر مقادیر باریم و توریم در این برگه بالا می‌بود، می‌توانستیم انتظار وجود عناصر راديواكتيو را در رگه‌های باریتی داشته باشیم که اینچنین نیست و عیار باریم فقط در ۸ نمونه بیش از 1000 ppm و کمتر از 3700 pm می‌باشد. علاوه بر آن توریم نیز دارای عیار چندان بالایی در این برگه نمی‌باشد و ماکزیمم عیار آن 55ppm می‌باشد.



تصویر ۲-۵- نتیجه‌ی آنالیز خوشه‌ای بر روی داده‌های آبراهه‌ای ورقه چوپانان

۲-۶-۷-۳- آنالیز فاکتوری

در روش‌های مبتنی بر مقادیر ویژه با استفاده از مقادیر ویژه و بردارهای ویژه جهت‌هایی با حداکثر تغییرپذیری شناسایی می‌شود. سپس با تعریف متغیرهای جدیدی که ترکیب خطی از متغیرهای اولیه است تعداد ابعاد (متغیرها) کاهش یافته و نقش هر یک از متغیرها در تغییرپذیری مشخص می‌گردد. این روش‌ها عمدتاً شامل تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های اصلی و تجزیه و تحلیل عاملی می‌باشد. با توجه به این که در صورت انجام صحیح و تفسیر منطقی نتایج تجزیه و تحلیل آماری غالباً نتایج تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های اصلی را نیز در خود نهفته دارد، در این پروژه صرفاً از تجزیه و تحلیل عاملی (آنالیز فاکتوری) که بر روی داده‌های نرمال انجام پذیرفت، استفاده گردید. در ضمن بعلت عدم وجود داده کافی برای عنصر رنیوم و حذف امتیازهای فاکتوری در صورت حضور این عنصر در آنالیز، این عنصر از آنالیز فاکتوری حذف گردید.

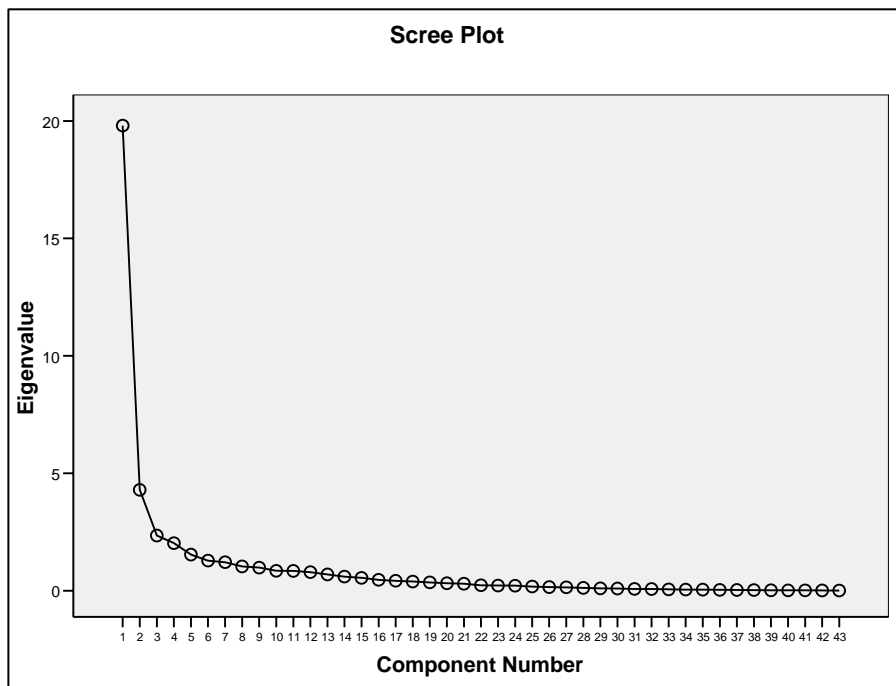
با اعمال تجزیه و تحلیل عاملی (Factor Analysis) ابعاد داده‌ها از تعداد ۴۴ عنصر به تعداد کمتری عامل کاهش پیدا می‌کند. این عوامل دارای دو خاصیت مهم هستند:
الف) بخش اعظم تغییرپذیری را توجیه می‌کنند.

ب) متغیرهای جدید (فاکتور) که محصول ترکیب خطی متغیرهای اولیه هستند بین خود همبستگی نشان نمی‌دهند. این امر کاربرد روش مورد نظر را آسان می‌کند.

یکی از پارامترهای گزارش شده در هنگام پردازش عاملی مقدار KMO (Kaiser-Meyer-Olkin Measure of Adequacy Sampling) است. مقادیر بزرگ KMO دلالت بر تأیید تجزیه عاملی و مقادیر کوچک آن دلالت بر عدم تأیید تجزیه عاملی دارد. این مقدار در مورد نمونه‌های ورقه‌ی چوپانان بر اساس جدول ۲-۹، برای داده‌ها ۰/۹۳ می‌باشد که بر اساس بازه‌های تعریفی این کمیت در کتاب‌های زمین‌آمار (بعنوان مثال، حسنی‌پاک، ۱۳۸۰) تجزیه‌ی عاملی را در رده مناسب قرار می‌دهد. همچنین بوسیله‌ی روش Scree Plot نیز این آزمون مورد آزمایش قرار گرفت (تصویر ۲-۶) که همانطور که در تصویر نیز دیده می‌شود در این نمودار افتادگی در حدود ۴ تا ۶ پارامتر مستقل دیده می‌شود و این آزمایش نشان‌دهنده‌ی ۴ تا ۶ فاکتور است.

جدول ۲-۹- پارامترهای گزارش شده در هنگام پردازش عاملی مقدار KMO برای ضرایب غنی شدگی

KMO and Bartlett's Test		
Kaiser-Meyer-Olkin Measure of Sampling Adequacy.	0.93	
Bartlett's Test of Sphericity	Approx. Chi-Square	32869
	df	903
	Sig.	0.00



تصویر ۲-۶- نمودار Scree Plot برای داده‌های آبراه‌های چوپانان که در آن می‌توان تعداد ۴ فاکتور را مساعد دانست

پارامتر دیگر ارایه شده در حین این پردازش‌ها درصد مشارکت (Cumulative Percent) برای هر عضو است که در جدول ۲-۱۰ آمده است. بر اساس جدول مذکور بسیاری از عناصر دارای درجه مشارکت با ضریب نزدیک به یک هستند و این بدان معناست که این عناصر تقریباً ماهیت ژئوشیمی خود را در تجزیه و تحلیل عاملی نشان داده‌اند. در نهایت و پس از استفاده از تعداد فاکتورهای مختلف، آنالیزی برپایه ۴ فاکتور بعنوان بهترین نتیجه بدست آمد که این آنالیز با چرخش بروش (Varimax) حاصل گردید. نتیجه این آنالیز در جدول (۲-۱۲) ارائه شده است و همچنین در جدول (۲-۱۱) نیز میزان واریانسی که توسط این آنالیز مشخص شده است دیده می‌شود.

جدول ۲-۱- درصد مشارکت عناصر مختلف در آنالیز فاکتوری پس از محاسبه ضرایب غنی‌شدگی

Communalities			Communalities		
Ele.	Initial	Extraction	Ele.	Initial	Extraction
LnAl	1	0.96	Te	1	0.77
LnBe	1	0.94	LnNi	1	0.75
LnSc	1	0.93	LnBa	1	0.71
LnK	1	0.93	LnCr	1	0.70
LnCe	1	0.93	LnCd	1	0.70
LnLa	1	0.92	LnSr	1	0.69
LnTi	1	0.91	Bi	1	0.67
LnZr	1	0.90	Yb	1	0.66
Co	1	0.89	LnRb	1	0.66
LnMn	1	0.89	LnS	1	0.65
LnLi	1	0.87	LnW	1	0.58
LnFe	1	0.87	Sb	1	0.54
LnZn	1	0.87	LnAs	1	0.49
LnCa	1	0.85	Tl	1	0.46
LnV	1	0.83	LnPb	1	0.37
lnNa	1	0.83	Mo	1	0.36
Mg	1	0.83	LnAu	1	0.32
Nb	1	0.81	LnAg	1	0.28
Y	1	0.81	U	1	0.26
LnTh	1	0.81	LnCs	1	0.15
LnP	1	0.81	Sn	1	0.03
LnCu	1	0.81			

جدول ۲-۱۱- میزان واریانس‌های فاکتورهای بدست آمده از آنالیز فاکتوری

Total Variance Explained			
Component	Rotation Sums of Squared Loadings		
	Total	% of Variance	Cumulative %
1	18.0	41.9	41.9
2	4.4	10.1	52.0
3	3.6	8.3	60.3
4	2.5	5.9	66.2

جدول ۲-۱۲- نتیجه آنالیز فاکتوری بر روی داده‌های ورقه چوپانان

Rotated Component Matrix(a)				
Ele.	Component			
	1	2	3	4
LnAl	0.96	0.06	0.00	-0.02
LnBe	0.95	0.00	-0.05	0.16
LnK	0.95	-0.03	-0.05	0.09
LnCe	0.94	0.12	0.05	0.13
LnZr	0.94	0.09	0.04	0.07
LnSc	0.94	0.13	0.16	0.01
LnLa	0.94	0.16	0.06	0.11
LnLi	0.90	-0.07	-0.06	0.16
LnP	0.88	0.07	0.09	0.13
LnMn	0.88	0.20	0.27	0.02
Y	0.87	0.21	0.09	0.04
LnCa	-0.86	-0.05	-0.29	0.06
LnTi	0.85	0.19	0.35	-0.02
LnZn	0.84	0.17	0.34	0.13
LnFe	0.84	0.07	0.39	0.10
LnCu	0.83	0.14	0.28	0.15
lnNa	0.81	0.00	-0.06	-0.19
LnTh	0.78	0.02	0.26	0.34
LnV	0.76	0.11	0.48	0.11
Yb	0.73	0.27	0.11	0.11
LnBa	0.72	-0.05	0.16	0.37
Co	0.68	0.21	0.61	0.02
Nb	0.62	-0.17	0.31	-0.36
LnNi	0.62	0.25	0.47	-0.28
LnPb	0.40	0.24	0.31	0.24
Sn	0.12	-0.09	-0.06	-0.05
Te	0.19	0.83	0.19	0.03
LnCd	0.10	0.81	0.01	0.08
Bi	0.11	-0.78	0.17	0.15
LnW	0.08	-0.74	-0.14	0.07
Sb	0.20	0.62	0.28	-0.01
LnRb	0.16	-0.57	-0.53	0.11
Tl	-0.26	-0.44	-0.41	-0.08
U	0.28	0.33	-0.27	0.04
LnCs	0.11	0.29	-0.07	0.05
LnCr	0.33	0.14	0.72	-0.21
LnAu	0.27	0.12	0.45	0.06
LnAg	0.05	0.06	-0.44	-0.13
LnAs	0.31	-0.02	0.39	0.29
LnSr	0.19	-0.13	-0.04	0.78
LnS	0.15	-0.11	0.05	0.70
Mg	0.11	-0.21	-0.08	-0.60
Mo	0.34	0.32	0.09	0.36

همانطور که دیده می‌شود ۸ فاکتور بعنوان نتیجه‌ی نهایی با توضیح حدود ۶۶/۲ درصد تغییرات بهترین نتیجه برای

این آنالیز می‌باشند.

فاکتور ۱ با شرکت عناصری مانند Pb, Ni, Nb, Co, Yb, Ba, V, Th, Na, Y, Cu, Ti, Fe, Zn, Mn, P, Li, La, Sc, Zn, Ce, K, Be, Al و با واریانس حدوداً ۱/۹٪ درصدی در واقع نشان‌دهنده‌ی مجموعه‌ای از عناصر اصلی و عناصر نادر خاکی است که تشکیل‌دهنده‌های اصلی خاک می‌باشند و مسئول اصلی تغییر در مقادیر این عناصر، تغییرات لیتولوژیکی است حضور عناصر کانی‌سازی همچون مس و روی و سرب در این فاکتور به همراه عناصر لیتولوژیکی می‌تواند به دلیل عدم حذف سنگ بالادست در این پروژه باشد.

در فاکتور دوم با تغییر پذیری حدود ۱۰ درصد عناصری مانند Te, Cd, Sb, U شرکت کرده‌اند. عناصر Cr, Au, As با تغییر پذیری حدود ۸ درصد در فاکتور ۳ حضور پیدا کرده‌اند. که البته حضور طلا و آرسنیک به همراه کروم در یک فاکتور منطقی و طبیعی به نظر نمی‌رسد.

و بالاخره در فاکتور چهارم عناصر Sr, S, Mo با تغییر پذیری حدود ۶ درصد مشاهده می‌شوند. نکته‌ای که در پایان این بخش می‌بایست بدان اشاره کرد در مورد نوع این آنالیزها و توانایی‌های آن‌هاست. در واقع این آنالیزها زمانی قادر به پاسخگویی و تفکیک مناسب می‌باشند که تنها بر روی یک سیستم کانه‌زایی بکار روند و زمانی که چندین سیستم کانه‌زایی متفاوت با ساختارهای ژنتیکی مختلف موجود باشد کارایی این آنالیزها بشدت پایین می‌آید. بنابراین حضور تغییرات لیتولوژیکی فراوان با توجه به محدوده‌ی وسیع عملیاتی، احتمال وجود کانی‌زایی‌های با تیپ‌های متفاوت در منطقه همگی از کارایی‌های این آنالیزها بشدت می‌کاهد و در تفسیر آن‌ها با چشم‌پوشی از بسیاری از وقایع زمین‌شناسی صورت می‌پذیرد که ممکن است چندان درست نباشد.

۷-۲- تکنیک‌های رسم نقشه و مپاسازی مناطق آنومال

در این پروژه، استخراج نواحی آنومال توسط محاسبه‌ی مقادیر زمینه، حد آستانه‌ای و آنومالی‌های هر عنصر و همچنین فاکتورها در دستور کار قرار گرفت. برای رسم نقشه‌های ژئوشیمیایی مربوط به رسوبات آبراهه‌ای نمی‌توان از نرم‌افزارهای متداول تخمین استفاده کرد زیرا این نمونه‌ها برخلاف نمونه‌های ژئوشیمیایی مربوط به بخش سنگ یا خاک (که معرفی از اطراف خود هستند)، معرفی از حوضه‌ی آبریز است یعنی هر نمونه از حوضه‌ی آبریز آبراهه‌ای که از آن برداشت گردیده تاثیر می‌پذیرد. بدین منظور از نرم‌افزار ArcGIS کمک گرفته شد و در این نرم‌افزار با استفاده از لایه‌های نقشه‌های توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ حوضه‌ی آبریز هر نمونه رسم گردید. سپس اقدام به رتبه‌بندی این پلیگون‌ها با استفاده از مقادیر مربوط به نمونه‌ی آن‌ها گردید. در این رتبه‌بندی برای ارزش‌دهی به نمونه‌ها از مقادیر خام آن‌ها استفاده گردید اما برای رتبه‌بندی و تعیین پارامترهای این مقادیر خام (پارامترهای میانگین و انحراف

معیار) از داده‌های نرمال استفاده گردید که در جدول (۲-۶) آمده است. بدین ترتیب مقادیر پلی‌گون‌ها با توجه به انحراف معیارها به ۴ رده‌ی رنگی زیر تقسیم‌بندی شد:

$$x < X < x + s \quad \text{با رنگ خاکستری کم‌رنگ}$$

$$x + s < X < x + 2s \quad \text{با خاکستری پررنگ}$$

$$x + 2s < X < x + 3s \quad \text{با رنگ سبز}$$

$$X > x + 3s \quad \text{با رنگ قرمز}$$

از آنجایی که بخش زیادی از منطقه فاقد رخنمون سنگی و بصورت بخش ماسه‌بادی و یا شوره زار بوده است و فاقد نمونه می‌باشد، لذا این بخش‌ها نیز با رنگ پس‌زمینه سبز روشن مشخص گردیده است.

نقشه‌های ۱ الی ۴۷ در انتهای گزارش که در قطع A3 ارائه گردیده نشان‌دهنده‌ی ۴۷ نقشه‌ی ژئوشیمیایی تک‌عنصره و فاکتورهای بدست آمده از آنالیز فاکتوری است.